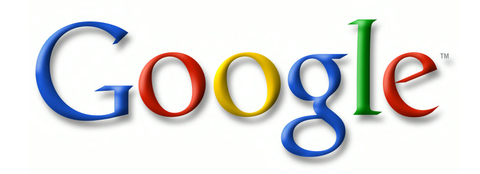


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

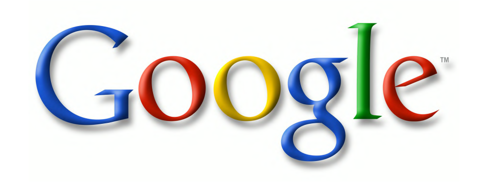
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

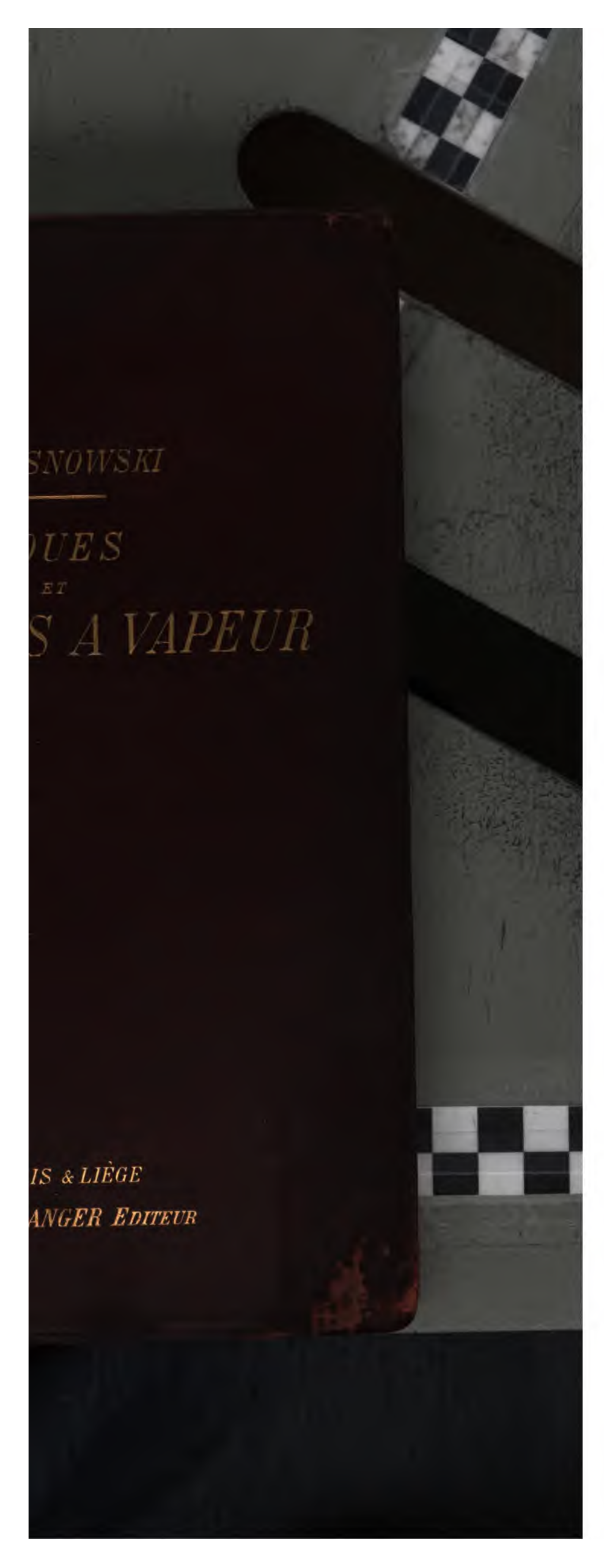
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

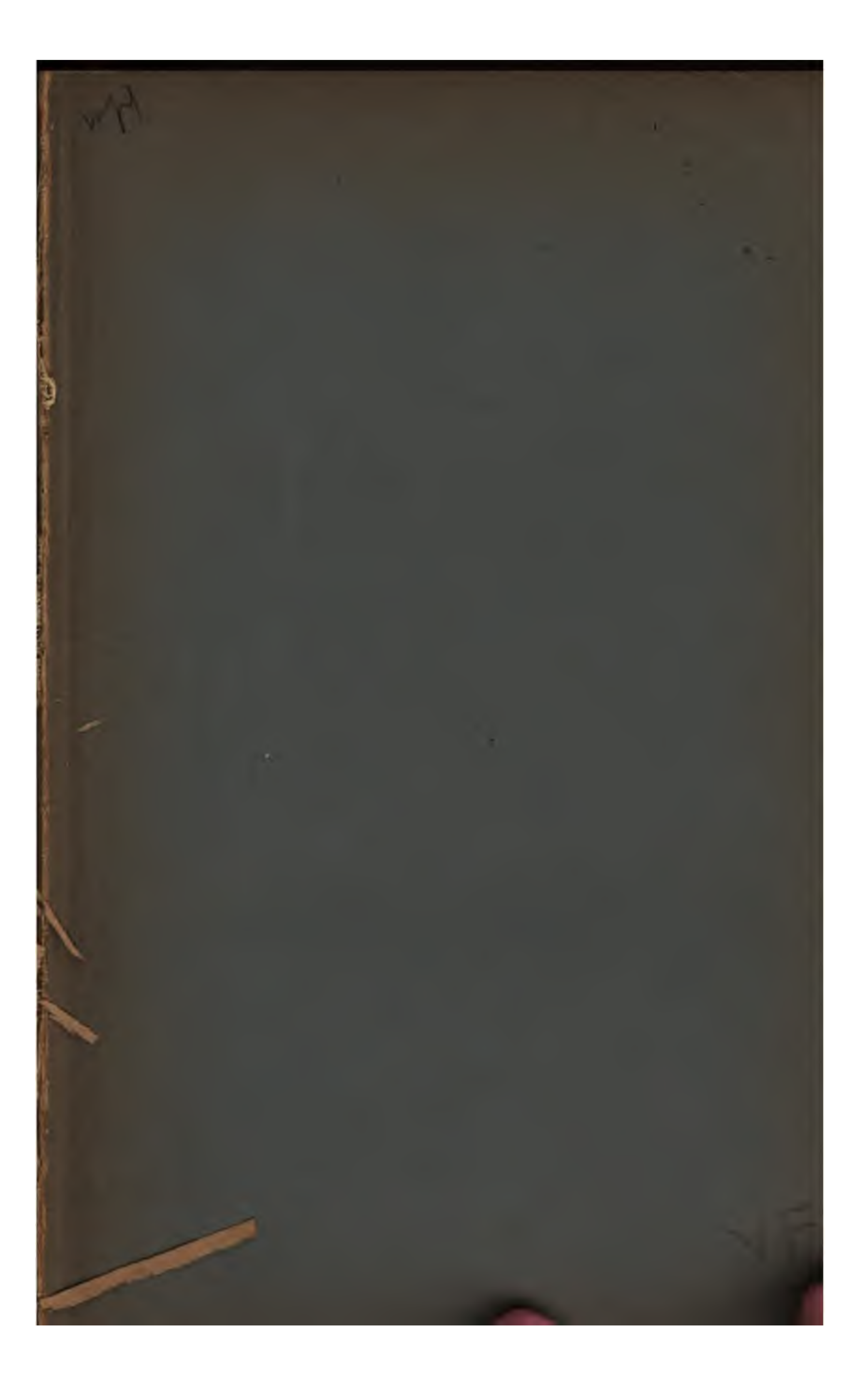
À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


SNOWSKI
UES
ET
S A VAPEUR
IS & LIÈGE
ANGER EDITEUR

1. Turbines, Steam, 1904

5nD



ROUES

ET

TURBINES A VAPEUR

à Monsieur [illegible]
Hommage de l'Auteur
K. Sosnowski

ROUES
ET
TURBINES A VAPEUR

PAR

K. SOSNOWSKI
INGÉNIEUR CIVIL

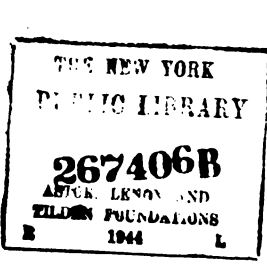
DEUXIÈME ÉDITION
Revue et augmentée.

Avec 356 figures dans le texte.

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
SUCCESSEUR DE BAUDRY ET Cie
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1904

Tous droits réservés.


THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
267406B
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R 1944 L

PRÉFACE

DE LA SECONDE ÉDITION

Dans nos communications soit à la Société française de Physique, soit à la Société internationale des Electriciens, soit à la Société des Ingénieurs civils, nous avons, dès 1894, donné, en même temps que la description de plusieurs types, la classification des turbines à vapeur et indiqué les grandes lignes de leur théorie et des bases de calcul de leurs principaux organes.

Nous avons ensuite entrepris le travail paru en 1896 dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale* sous le titre **Roues et Turbines à vapeur** qui avait pour but de tracer l'historique des études et des recherches auxquelles ont donné lieu ces machines.

Ce livre constitue la première monographie des moteurs à vapeur à mouvement circulaire continu.

Bien que la plupart des appareils décrits soient restés à l'état de simple projet, sans avoir jamais eu d'applications industrielles, ils n'en sont pas moins intéressants, car ils nous donnent l'image de l'évolution de la question.

Parmi les tentatives plus ou moins heureuses, les conceptions plus ou moins pratiques, les inventions plus ou moins facilement réalisables, on retrouve presque toutes

Grafton / Dec. 1943

les idées qui ont rendu possible aujourd'hui ce qui était hier encore du domaine du rêve, — idées qui ont permis de créer la turbine actuelle et qui ont ainsi contribué à ce qui peut être considéré comme une véritable révolution dans le mode d'utilisation de l'énergie de la vapeur.

Nous avons conservé, dans la nouvelle édition de notre travail, l'ordre chronologique adopté primitivement en comblant quelques lacunes de notre partie descriptive jusqu'en 1896 et en la complétant à partir de cette date jusqu'en 1904.

Nous nous sommes bornés, pour cette dernière période, à marquer presque uniquement les premières créations de chaque auteur, la place nous faisant défaut pour tenir compte de tous les perfectionnements successifs et de toutes les applications industrielles auxquelles elles pouvaient donner lieu.

S'il n'est pas possible d'en déduire l'importance de telle ou telle invention, on peut tout au moins juger de son originalité.

Tout en faisant ressortir plusieurs côtés caractéristiques de nature à différencier les divers systèmes des moteurs à mouvement circulaire en général, et des turbines à vapeur en particulier, tels que la direction du fluide moteur par rapport à l'arbre, la position de l'arbre moteur, etc., — nous avons indiqué, comme base principale de la classification de ce genre de machines, le mode de fonctionnement du fluide moteur, en subdivisant toutes les turbines en deux groupes principaux : turbines à réaction et turbines à action.

Turbines à réaction, dans lesquelles la détente de la vapeur se fait dans le distributeur et dans le récepteur successivement.

Turbines à action, dans lesquelles la détente s'opère intégralement dans le distributeur.

Dans les premières, la vapeur agit sur le récepteur à aubes

par sa pression et par sa force vive, alors que dans les secondes elle n'agit que par cette dernière.

Un simple examen chronologique permettra de se rendre compte que, si les turbines à réaction à disques multiples, dont le plus célèbre type est la turbine Parsons, ont pour prototype l'appareil imaginé par Réal et Pichon (1827) et surtout la turbine conçue de toutes pièces par Tournaire (1853); — la turbine de Laval, simple ou compound (1889-1894), est le prototype de toutes les turbines à action, qu'elles soient à disque simple, comme Rateau, premier genre (1894), Riedler-Stumpf (1900), ou à disques multiples comme Curtis (1896), Rateau, deuxième genre (1898), Zoëlly (1902), etc.

A ce titre, nous avons reproduit intégralement le mémoire de Tournaire, présenté il y a un demi-siècle à l'Académie des Sciences.

A ce titre également, de même qu'en raison de l'originalité et de la hardiesse de la conception de sa turbine, ainsi que de la supériorité du principe d'action qu'elle a consacré, nous avons réservé une place spéciale à de Laval.

En faisant le bilan de la période décennale écoulée, on est frappé de la rapidité du progrès et de l'importance du champ conquis.

Il y a dix ans, la turbine à vapeur, à la suite de ses débuts industriels plus ou moins heureux, était l'objet des plus vives critiques.

Elle ne comptait alors que des sceptiques ou des adversaires résolus.

En 1900, à l'Exposition universelle de Paris, il n'y a eu que deux types représentés, et sur près de 40.000 chevaux

des machines en mouvement de la Station centrale génératrice, il y a eu seulement 700 chevaux en turbines.

En peu de temps la turbine est arrivée, tant au point de vue de la sécurité de son fonctionnement qu'à celui de son rendement à égaler les meilleures machines à piston. Elle peut être considérée aujourd'hui comme le moteur à vapeur le plus économique.

Alors qu'il y a dix ans on hésitait à installer des turbines de quelques centaines de chevaux et que l'on ne les admettait que dans des cas bien rares et tout à fait spéciaux, nous voyons aujourd'hui des unités de 5.000 et 10.000 chevaux et des applications aussi nombreuses que variées.

Le triomphe de la turbine à vapeur était tout aussi rapide sur mer que sur terre.

Après des installations peu importantes au début, et exclusivement comme machines de secours ou de rechange, on établit maintenant des stations centrales entières à turbines. Après les bateaux de plaisance et les torpilleurs, on se met à munir des turbines les plus grands transatlantiques.

Le progrès est prodigieux et le résultat acquis déjà très considérable.

Alors qu'il y a dix ans on comptait à peine quelques installations de peu d'importance, il y a aujourd'hui des centaines de milliers de chevaux en service et il n'est pas téméraire d'affirmer, ce que nous nous permettions d'énoncer tout à fait au début, que les jours des moteurs à piston sont comptés et que la turbine à vapeur, d'une part, et la turbine à gaz, d'autre part, les remplaceront définitivement dans la plupart de leurs applications.

Tout en rendant le juste hommage aux prédécesseurs, qui, comme Tournaire, par leur exposé lumineux, ont indiqué la voie à suivre, on doit reconnaître que la turbine actuelle est presque entièrement l'œuvre de deux ingénieurs contemporains, de Laval dont les premiers modèles datent de 1883, et Parsons qui a créé son turbogénérateur en 1884.

Nous ne voulons pas terminer ce court aperçu sans rappeler les travaux, études et recherches, tant théoriques que pratiques, souvent très remarquables, qui ont trait à ce vaste sujet et sans citer quelques noms de leurs auteurs tels que :

Minary et Réval (1861), Napier (1866), Hugoniot (1886), Peabody et Kunhard (1890), Parenty (1891), Ollson (1893), Rateau (1894), Miller et Réad (1895), Klein (1895), Föppl (1896), Stévart (1896), Böttcher (1898), Zeuner (1899), Thurston (1900), Fayot, Delaporte, Rosenhain, Stodola, Lewicki, Mollier, Shutz.

TABLE DES MATIÈRES

ROUES

ET

TURBINES A VAPEUR

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

La production du travail mécanique dans des cylindres de machines à vapeur ordinaires est basée sur le fait qu'on ne laisse pas prendre au piston, et par suite à la vapeur, une vitesse notable, mais qu'on oppose toujours à l'expansion du fluide une résistance égale à sa propre pression. En un mot, on tend à réaliser un cycle réversible d'opérations, en utilisant la pression de la vapeur, et le rendement est donné, à la limite, par celui du cycle de Carnot :

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Comme on le sait, on en est loin en pratique, de sorte que, dans de bonnes machines fonctionnant entre des limites de température pour lesquelles le rendement théorique serait de 30 p. 100, par exemple, on n'obtient, dans les cylindres, que le tiers ou le quart seulement de cette quantité, soit de 7,5 à 10 p. 100 de l'énergie potentielle de combustible.

Ceci pour des raisons multiples, dont les deux principales sont :

1° Que ces machines ne réalisent pas le cycle théorique de Carnot, mais un cycle, dit *pratique*, qui en diffère en ce qu'on

n'utilise pas toute la détente de la vapeur, et qu'on ne la ramène pas graduellement, à la fin de l'opération, à la pression initiale de la chaudière par une compression adiabatique.

Pour produire dans une machine à condensation une chute de température de 152° à 35° qui est la température des condenseurs, il faudrait détendre quarante-cinq fois au moins la vapeur admise au cylindre. Jamais on ne fait une aussi longue détente.

2° Que les opérations successives qui se font, tantôt à la température de la chaudière, tantôt à celle du condenseur, ont lieu dans un seul et même récipient, le cylindre, qui tend à prendre successivement ces températures, d'où condensation de la vapeur, au moment de l'admission, sans production de travail utile. Une partie de cette chaleur prise par les parois est bien utilisée, il est vrai, pendant la détente (*la revaporisation*), mais dans des conditions défavorables, avec une moindre chute de température, en sorte qu'il y a transport de chaleur de la chaudière au condenseur, auquel ne correspond pas de travail utile (*perte à l'émission*, *refroidissement au condenseur de Hirn*). Le rayonnement continu des divers organes enlève, en outre, une certaine quantité de chaleur qui n'est pas utilisée.

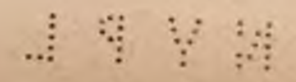
Cette influence néfaste des parois est si considérable, que Thurston a pu parler de *perfectionnement ultime* des machines à vapeur en appliquant cette expression à un procédé qui diminuerait l'absorption de chaleur par les parois.

Depuis que la théorie de la *machine à vapeur à piston à mouvement alternatif* a été nettement posée et que les causes inévitables de son faible rendement ont été bien établies, on a dû reconnaître que l'application, à ces moteurs, des enveloppes de vapeur et de la multiple expansion, jointe à la surchauffe et à la condensation, était le dernier mot du progrès.

Le maximum de rendement était atteint; les perfectionnements ne pouvaient plus porter que sur les détails de construction.

La question des *moteurs à vapeur à mouvement circulaire continu* est alors revenue tout naturellement à l'ordre du jour.

En effet, s'il n'y avait plus rien à espérer des moteurs classiques, où le génie humain s'est dépensé durant tout un siècle, le champ



restait au contraire, entièrement ouvert, et l'avenir plein de promesses, pour les moteurs à mouvement circulaire.

Il semblait donc intéressant de tracer l'historique de ce qui a été fait dans cette direction et de marquer tout au moins les points principaux des progrès accomplis jusqu'à ce jour.

C'est ce qui fait l'objet de la présente étude.

Le sujet ne se prête pas encore à de longs développements, surtout au point de vue des résultats acquis : tout, ou presque tout se réduit, en effet, jusqu'à ces derniers temps, plutôt à une série de conceptions plus ou moins hardies, de tentatives plus ou moins ingénieuses, qu'à des appareils vraiment pratiques. Ces conceptions n'en présentent pas moins d'intérêt pour cela, car, par leurs côtés faibles, par leurs défauts mêmes, elles ont indiqué la vraie voie où il fallait s'engager pour arriver à un résultat pratique.

Avant de passer à la description de ces divers appareils, qu'il nous soit permis de remercier ici tous ceux qui ont bien voulu faciliter nos recherches : MM. J. Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences; Haton de la Goupillière, directeur de l'École supérieure des mines; Maurice Lévy, professeur à l'École centrale; Hirsch, professeur au Conservatoire des arts et métiers; d'Arsonval, professeur au Collège de France, et G. Richard, ingénieur civil des mines, membre honoraire du Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. Leur appui bienveillant nous a été d'autant plus précieux que le terrain restait complètement à déblayer et que plusieurs documents se rapportant à notre sujet étaient restés à l'état de manuscrit dans des archives difficilement accessibles.

Août 1896.

CLASSIFICATION

Les moteurs à vapeur à mouvement circulaire continu peuvent être divisés en deux catégories :

Machines à piston, connues sous le nom de *machines rotatives*, et *machines sans piston* analogues aux turbines et roues hydrauliques, désignées à tort, sans distinction, sous le nom général ou de *machines à réaction*, ou de *turbo-moteurs*.

Laissant de côté les « machines rotatives », nous ne traiterons dans cette monographie que des machines de la seconde catégorie.

Cette catégorie peut être divisée en quatre groupes :

I. **Moteurs à réaction** (genre Éolipyle de Héron) ;
II. **Roues à vapeur** ;
III. **Turbines à vapeur** ;
IV. **Moteurs mixtes**.

Chacun de ces groupes peut être à son tour subdivisé comme il suit :

Le premier groupe, qui dérive directement de l'Éolipyle de Héron, embrasse les *moteurs à simple réaction*, les *moteurs où cette réaction est combinée avec la détente et la condensation*, et enfin les *moteurs à vapeurs combinés*, où interviennent quelquefois aussi des liquides.

Le deuxième groupe dérive de la roue de Giovanni Branca et comporte les *roues à arbre vertical ou horizontal*.

Il est caractérisé par ce fait que le fluide, dans son mouvement par rapport au récepteur, au lieu de suivre son chemin toujours dans le même sens, comme dans les turbines, revient au contraire sur lui-même, comme dans les roues hydrauliques.

Le troisième groupe, « turbines à vapeur », peut être divisé en deux classes :

Turbines à réaction, dans lesquelles la pression agit concurremment avec la force vive, et *turbines d'action*, dans lesquelles le travail mécanique est uniquement produit par la force vive du fluide.

Les turbines en général, pourraient être également classées, suivant la direction du fluide moteur par rapport à l'arbre, en *turbines radiales* centrifuges ou centripètes, et en *turbines axiales* ou parallèles, puis encore différenciées suivant la position verticale ou horizontale de leur arbre.

Le dernier groupe comprend les moteurs *mixtes*, tels que les machines hélicoïdales, spiroïdales, etc.

Dans les descriptions qui suivent, nous observerons l'ordre chronologique seulement, renvoyant à la fin de ce travail la classification méthodique des divers types.

DESCRIPTION

L'idée d'un moteur à vapeur à mouvement circulaire est de beaucoup plus ancienne que celle d'un moteur à piston à mouvement alternatif.

Héron d'Alexandrie. — La machine décrite par *Héron d'Alexandrie* en l'an 120 avant Jésus-Christ [1] se composait (fig. 1) d'une sphère suspendue à deux tourillons, dont l'un était traversé par la vapeur amenée d'un vase rempli d'eau chaude au moyen d'un tuyau ε, situé au-dessous. La vapeur en s'échappant par les deux ajutages ο et κ recourbés en sens contraire et diamétralement opposés, que portait la sphère, communiquait à celle-ci, par sa réaction, un mouvement de rotation.

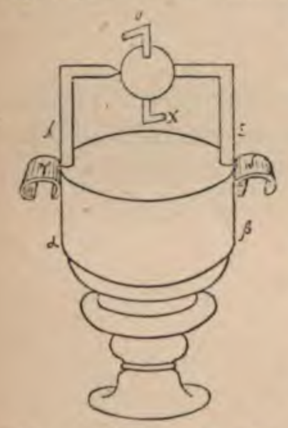


Fig. 1. — Éolipyle de *Héron d'Alexandrie*.

Des siècles se sont passés depuis cette découverte, avant qu'on ait eu l'idée de tirer parti de la puissance renfermée dans la vapeur d'eau.

Vers l'an **1550**, **Cardan** décrit les éolipyles de son invention.

En 1597, on trouve dans un livre imprimé à Leipzig la description de « *ce qu'on appelle l'éolipyle* » que l'on peut, dit-on, utiliser en y adaptant un tournebroche [2].

[1] *Mathematici Veteres Alexandrini Heronis Spiritalia*, p. 202. Édition de Thévenot MDCXCII.

[2] *Stuart's Descriptive History of Steam Engine*.

Salomon de Caus, 1615. — L'un de ceux qui ont eu, des premiers, l'exacte notion de la puissance de la vapeur est certainement *Salomon de Caus*, célèbre ingénieur français.

Son appareil pour « monter l'eau par aide du feu plus haut que son niveau » est une véritable machine, où l'énergie de la vapeur est utilisée pour produire un travail.

C'est à ce titre qu'il doit être cité toutes les fois qu'on trace l'historique de moteurs à vapeur de quelque catégorie qu'il soit. « Soit — dit-il [1] — une balle de cuivre marquée A (fig. 2) bien soudée tout à l'entour, à laquelle y aura un soupirail marqué D, par où l'on mettra l'eau et aussi un tuyau marqué BC, qui sera soudé en haut de la balle ; et le bout C approchera près du fond sans y toucher ; après, faut emplir ladite balle d'eau par le soupirail, puis le bien reboucher et la mettre sur le feu ; alors la chaleur donnant contre ladite balle fera monter toute l'eau par le tuyau BC. » Et ailleurs : « La violence de la vapeur qui cause l'eau de monter, est provenue de ladite cause, laquelle vapeur sortira après que l'eau sera sortie par le robinet avec grande violence. »

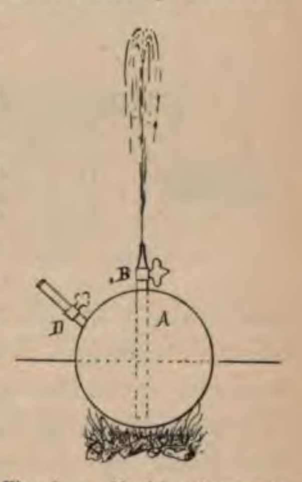


Fig. 2. — Machine à vapeur de *Salomon de Caus*.

Nous trouvons la définition suivante de l'éolipyle dans un livre paru en 1627 [2] :

« Ce sont des vases d'airain ou autre semblable matière qui puissent endurer le feu ; ils ont un petit trou fort étroit, par lequel on les emplit d'eau, puis on les met devant le feu, et jusqu'à ce qu'ils s'échauffent, l'on n'en voit aucun effet, mais aussitôt que le chaud les pénètre, l'eau venant à se raréfier sort avec un sifflement impétueux et puissant à merveille.

« Quelques-uns appliquent auprès du trou des moulinets ou choses semblables qui tourneraient par le mouvement des vapeurs

[1] Salomon de Caus, *Les Raisons des Forces mouvantes avec diverses Machines*. Francfort, 1615, page 4.

[2] *Récréations mathématiques*. Rouen, 1627, p. 93.

ou bien par le moyen de deux ou trois tuyaux recourbés en dehors font tourner une boule. »

Giovanni Branca, 1629. — G. Branca, célèbre architecte italien dans la description des diverses machines qu'il a publiée en 1629 [1], comprend une machine de son invention mue par la vapeur. Nous donnons une partie de la figure originale (fig. 3). Une roue à aubes *r* pareille aux roues hydrauliques est fixée sur un arbre vertical *a* qui porte un pignon *p*. Ce pignon est engrené avec une roue dentée, dont l'arbre porte un autre pignon, qui est engrené avec une seconde roue dentée, et ainsi de suite. Le mouvement est ainsi transmis par une série de trains d'engrenages, ce qui porte à croire que la vitesse de la roue principale devait être considérable. La machine est mue par un jet de vapeur lancée sur les aubes. La vapeur est produite dans un vase fermé qui est reproduit sous les traits d'une tête humaine sur le dessin original.

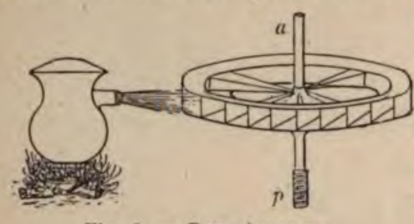


Fig. 3. — Roue à vapeur de *Giovanni Branca* (1629).

En **1642, Kircher** fait une application de la roue de Branca mue par deux jets de vapeur au lieu d'un.

Amontons, 1699. — En 1699, Amontons présente à l'Académie des sciences une machine de son invention qu'il appelait *roue à feu* et qui était une *roue à vapeur*.

James Watt, 1769. — Watt tentait, lui aussi, l'utilisation de l'énergie de la vapeur pour produire un mouvement rotatif continu. Dans un des brevets pris en 1769, il parle d'un moteur à vapeur qui serait analogue à une roue hydraulique.

Son brevet de 1784 contient une description détaillée d'un moteur à réaction (fig. 4, 5 et 6).

[1] *Le Machine diverse* del Signor Giovanni Branca. Rome, 1629, p. 25.

Un vase ABDEC est monté de façon à pouvoir tourner autour d'un axe vertical. Il est divisé en deux chambres par une cloison verticale. Le tout est enfermé dans un autre vase clos MN, rempli de mercure, eau, huile ou autre liquide quelconque.

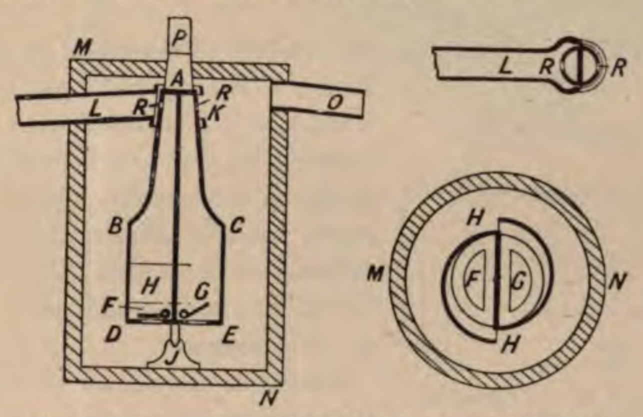


Fig. 4, 5 et 6. — Moteur à réaction de *James Watt* (1784).

Dans chaque chambre, près du fond, il y a des ouvertures H et dans le bas des clapets F et G.

La vapeur amenée par le tuyau L pénètre dans les deux chambres alternativement par les orifices R, presse le liquide y contenu le refoule au dehors et d'une chambre à l'autre par le jeu de clapet F et G. La réaction du jet sortant par l'ouverture H fait tourner l'appareil autour de son axe et transmet le mouvement à l'arbre P.

La vapeur est évacuée par O à l'air ou au condenseur.

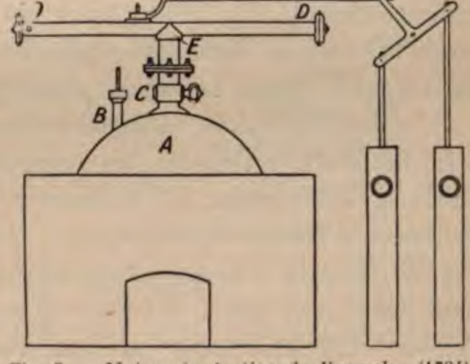


Fig. 7. — Moteur à réaction de *Kempelen* (1784).

Wolfgang de Kempelen. — En même temps que Watt, Kempelen a breveté son moteur à réaction (fig. 7). A représente une chaudière munie de sa soupape de sureté B et de son robinet de vapeur C. Sur cette chaudière est montée

un cylindre creux DD dans lequel on a pratiqué à chaque extrémité, du côté opposé, des petites ouvertures.

La vapeur en s'échappant par ces ouvertures fait tourner l'appareil.

Cook, 1787. — Cook présente en 1787, à l'Académie royale d'Irlande, la description d'une machine à rotation [1]. A la circonférence d'une roue (fig. 8) sont attachées huit soupapes ou clapets, au moyen de charnières faites de manière à ce que les clapets, en s'ouvrant, décrivent un arc un peu plus grand qu'un quart de circonférence.

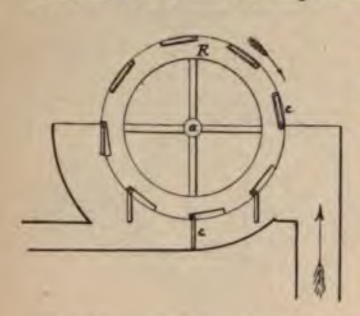


Fig. 8. — Roue à vapeur de *Cook* (1787).

Durant la révolution de la roue, les soupapes qui sont à la partie inférieure de la circonférence restent suspendues dans une direction verticale, en vertu de leur propre gravité, et remplissent les fonctions des aubes attachées aux roues hydrauliques.

C'est une vraie roue à vapeur à palettes mobiles.

James Sadler, 1791. — En 1791, Sadler décrit sa machine. Un cylindre creux C (fig. 9 et 10) ouvert et recourbé à ses deux extrémités BB dans les directions opposées reçoit, par l'axe creux M, sur lequel il tourne, la vapeur produite dans une chaudière.

Près des extrémités, aboutissent deux petits tuyaux AA, à peu près parallèles au cylindre, qui reçoivent l'eau apportée par l'autre partie de l'axe creux. Le cylindre peut tourner dans une boîte entièrement fermée D. La vapeur introduite dans le cylindre le remplit, mais le bras qui est au-dessous de l'axe reçoit l'eau arrivant par le petit tuyau; la vapeur se condense dans cette partie du cylindre et l'eau s'échappe par l'ouverture de la boîte qui renferme le tout; elle passe à travers une soupape F et s'écoule dans le condenseur. Le vide est formé momentanément dans un bras du

[1] *Stuart's Descriptive History of Steam Engine.*

cylindre, l'autre est rempli de vapeur qui tend à sortir par l'ouverture. C'est une machine à réaction et à condensation.

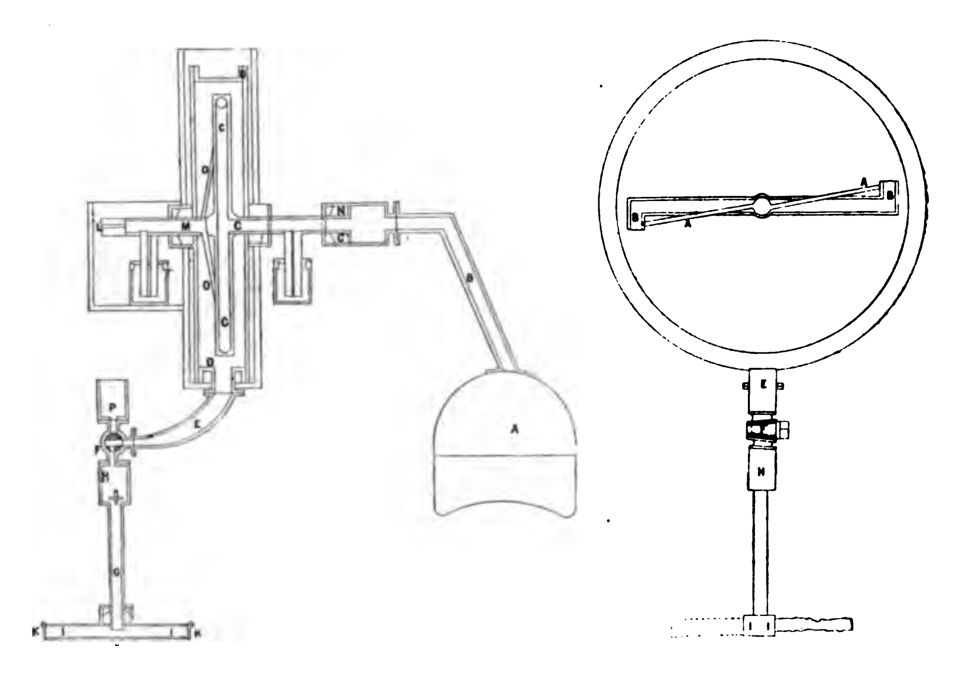


Fig. 9 et 10. — Moteur à réaction *J. Sadler* (1791). Coupe longitudinale et transversale.

En **1803, Couteaut** invente un dispositif dans lequel un jet de vapeur fait tourner une broche à l'aide d'une roue à augets et d'une roue et d'un pignon d'engrenage.

En **1805, Hornblower** fait breveter une roue à vapeur.

En **1809, Noble** décrit une roue à aubes mue par la vapeur (fig. 11).

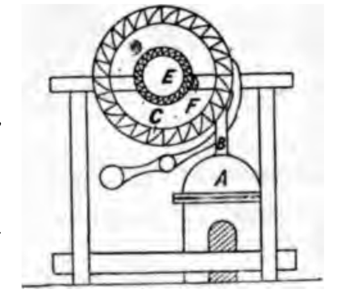


Fig. 11. — Roue à vapeur de *Noble* (1809).

Dietz, 1821. — Parmi les différents moyens inventés par Dietz pour imprimer immédiatement, par l'effet de la vapeur, un mouvement de rotation continu, à un arbre, citons sa roue représentée sur la figure 12.

Dans cette machine, la vapeur produit immédiatement le mouvement de rotation continu dans un même sens ; l'arbre *a*, qui reçoit ce mouvement, porte un système d'aubes *b* renfermées dans un tambour en fonte ou en tôle *c*, posé sur une chaudière à

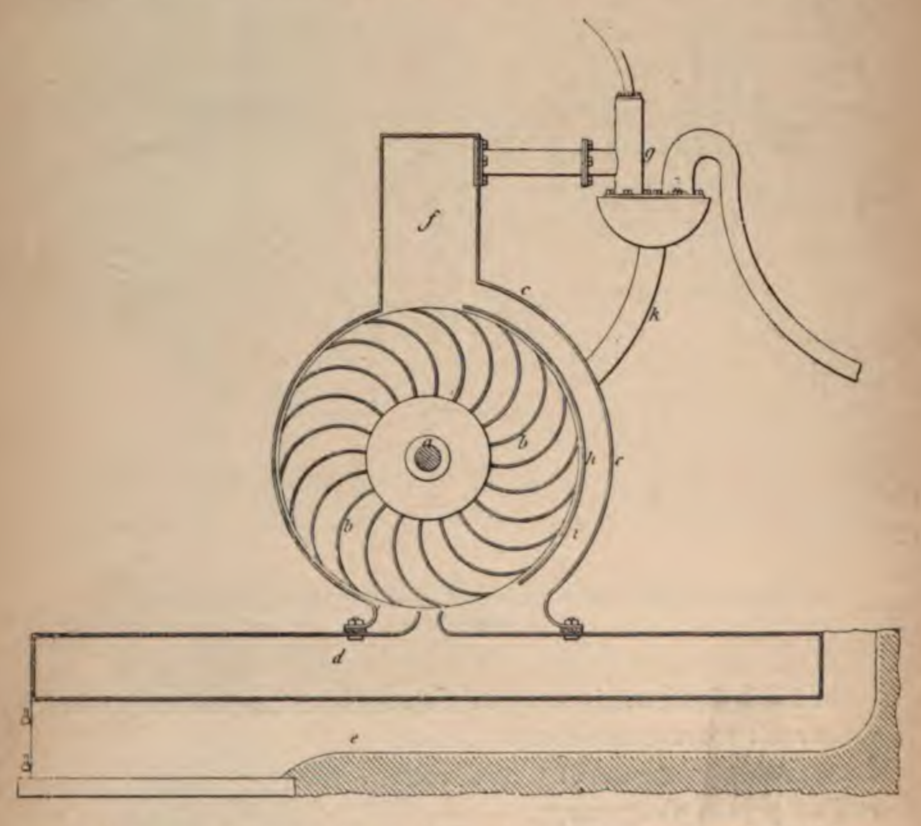


Fig. 12. — Roue à vapeur *Dietz* (1821). Vue d'ensemble du moteur et du générateur.

vapeur *d*, qui est établie sur un fourneau *e*; *f* est une caisse qui surmonte l'appareil, et qui est en communication avec le condenseur *g*.

L'un des côtés du système d'aubes *b* est enveloppé par une cloison arquée *h*.

L'appareil ainsi composé est rempli d'eau qu'il suffit de chauffer jusqu'à évaporation pour faire tourner avec son axe *a* le système d'aubes *b*.

La vapeur arrivée dans la caisse *f* passe dans le condenseur *g*, d'où elle est emmenée dans le canal *i* par le tuyau *k*.

En **1822 Thomas Leach**, de Londres, fait breveter un dispositif permettant l'utilisation directe de la vapeur sur une petite roue à aubes.

Thomas Peel (de Manchester), **1823**. — L'arbre creux D forme

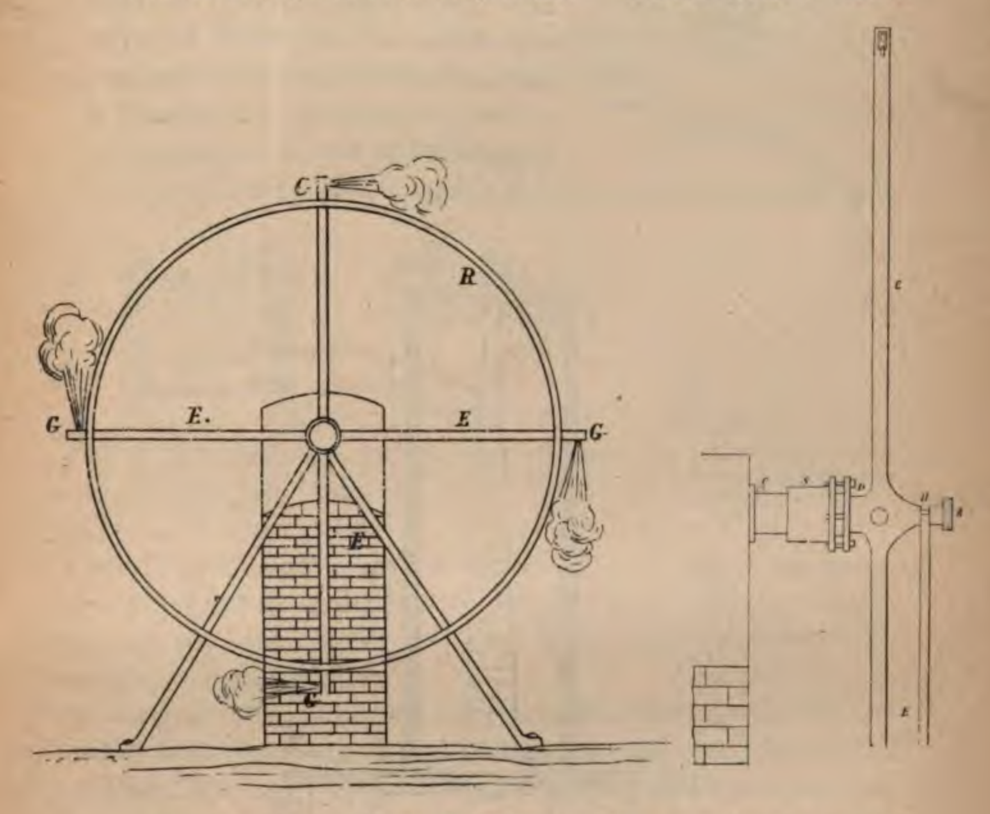


Fig. 13. — Moteur à réaction *Peel* (1823).

Fig. 14. — Moteur à réaction. *Peel*. Elévation.

(fig. 13 et 14) corps avec plusieurs bras E, qui portent à leurs extrémités des ouvertures de réaction G.

La vapeur emmagasinée dans le réservoir B pénètre par cet arbre dans le bras E et, en s'échappant par les ouvertures G, communique un mouvement de rotation au système RE.

Giudicelli, 1825. — La figure 15 représente l'appareil tournant comme l'indique la flèche, avec un mécanisme pour arrêter la face qui s'ouvre à une distance convenable et à la refermer.

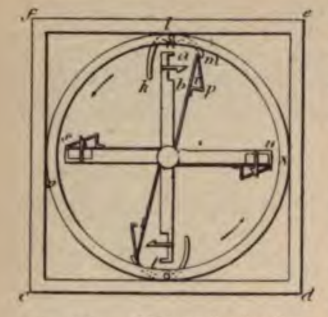


Fig. 15. — Moteur à réaction *Giudicelli* (1825).

« La face *ab* s'est ouverte par la rencontre des extrémités de la barre *i* avec deux plans inclinés. Le tourniquet *klm* tournant sur *l*, l'a arrêté par son extrémité *m* ; *no* en tournant, pousse l'extrémité *k*, et l'extrémité *m* ferme alors la face *ab*, au moyen du plan incliné *ap* qu'elle porte en dehors ; *k* finit par échapper au

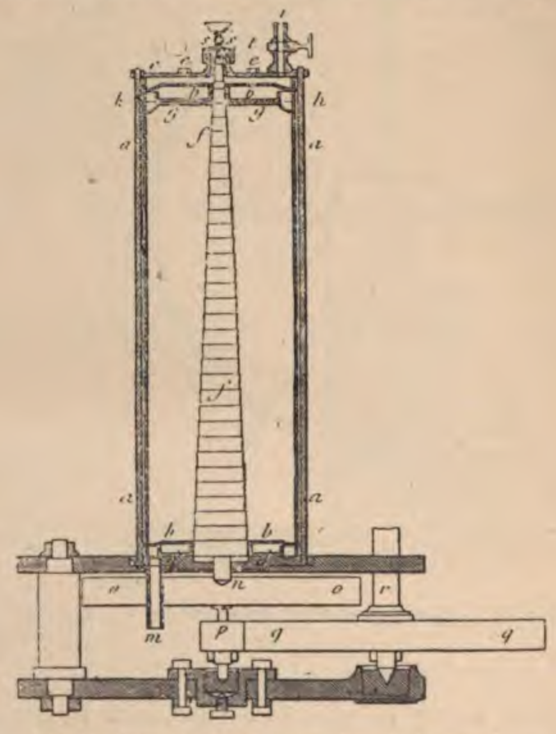


Fig. 16. — Turbine *Réal et Pichon* (1827). Vue de l'ensemble.

rayon qui le pousse. Quand le rayon est au point *s*, les conduits se trouvent dans la disposition convenable pour que la vapeur

arrive ; quand il est au point *t*, la vapeur n'arrive plus et la boîte s'ouvre comme au point *n*, pour se refermer de la même manière et recevoir la vapeur au point *u*. L'extrémité *m* du tourniquet à cause de son plan incliné cède dans le sens de la flèche, au tuyau qui arrive, et reprend sa place ensuite.

« La charnière *l* tient au cercle *lvtz* fixe qui, lui-même, tient à la boîte. »

Real et Pichon, 1827. — Dans ces machines, le jet continu de vapeur agit soit par impulsion soit par réaction.

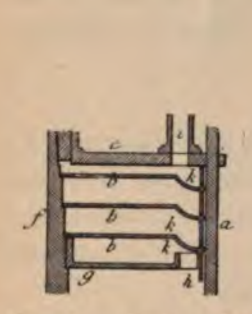


Fig. 17. — Turbine *Réal et Pichon*. Coupe d'une partie du cylindre.

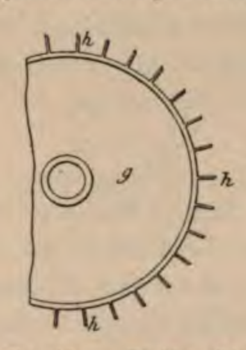


Fig. 18. — Turbine *Réal et Pichon*. Plan d'une roue.

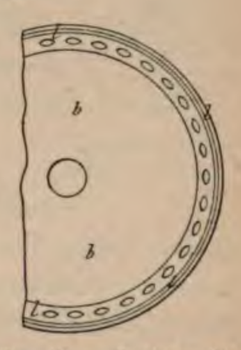


Fig. 19. — Turbine *Réal et Pichon*. Plan du disque recouvrant les roues.

Le cylindre *a* (fig. 16 et 17) se compose de la superposition successive de plusieurs disques ou chapeaux fixes *b* (fig. 17), emboîtés l'un sur l'autre et fixés au moyen de deux fonds *c* et *d* (fig. 16), reliés par des boulons.

L'arbre *f*, plein ou creux, a la forme d'un cône très allongé, sur les côtés duquel sont pratiqués des épaulements, dont chacun doit recevoir une roue *g*, portant à sa circonférence des aubes planes ou palettes *h* (fig. 18), destinées à recevoir l'impulsion de la vapeur dirigée sur elles presque perpendiculairement à leur surface.

La vapeur de la chaudière arrive par le robinet *i* (fig. 17), et remplit d'abord l'espace *k*, d'où elle se précipite par les issues *l* (fig. 19), pratiquées dans la circonférence des disques fixes *b*, qui recouvrent chacune des roues *g* sans les toucher.

Les issues *l*, percées obliquement sur cette circonférence en

forme de gorge circulaire, sont pratiquées de manière que leur direction soit perpendiculaire aux surfaces planes des aubes *h*, que le jet continu de vapeur chasse devant lui. Après avoir produit dans ce premier disque tout l'effet dont il est capable, le jet de vapeur passe dans l'espace immédiatement inférieur formé par la gorge circulaire du deuxième disque *b*, où le même jet agit une seconde fois sur la seconde roue à aubes ; après avoir parcouru successivement tous les disques, la vapeur arrive au dernier, d'où elle s'échappe par l'ouverture *n*, pour être condensée en partie ou en totalité.

A la partie inférieure de l'axe du cylindre est fixé un pignon *u*, qui commande l'arbre de transmission *r* par le train *opq*.

Fig. 20. — Moteur à réaction *Réal*. Plan.

La figure 20 représente un autre système des disques Réal. La vapeur sortant avec la vitesse produite par sa tension réagit sur la paroi opposée à chacun des orifices *c'*, *d'*, détermine la rotation du disque et, par conséquent, celle de l'axe *f*, sur lequel les disques *b* sont fixés.

Au sortir de ces issues, la vapeur se précipite dans le disque immédiatement au-dessous, par des ouvertures semblables à celles *a' b'*, puis, de là, dans le suivant, et ainsi de suite.

La vapeur agit ici par réaction au lieu d'agir par impulsion, comme précédemment.

Fénéon, 1828. — Si, dans un tube ayant une surface et une longueur déterminées, on introduit un certain volume de vapeur, cette vapeur, pressera le fond du tube et, s'écoulant ensuite, réagira pendant tout son trajet ; « la moitié de la force développée dans ses changements successifs de volume — dit l'auteur — se transmet encore au fond du tuyau, et tend à le mettre en mouvement ».

On obtiendra, d'un semblable appareil, le maximum d'effet dans le cas où la longueur du tube sera telle, qu'en ayant égard au mouvement que l'élasticité du gaz communique à ses propres parties, il ait le temps de se dilater complètement pendant son trajet et de sortir, sous la pression de l'atmosphère, avec une vitesse absolument nulle.

Le principe de cette machine est, comme on le voit, de produire de la vapeur à une haute pression et de l'introduire à cet état dans un long tube ouvert à une de ses extrémités, fermé à l'autre, où elle agira d'abord par sa tension immédiate, puis par sa force de détente.

La figure 21 donne l'idée d'une machine de ce genre.

A un volant en fonte, sont attachés plusieurs tubes moteurs

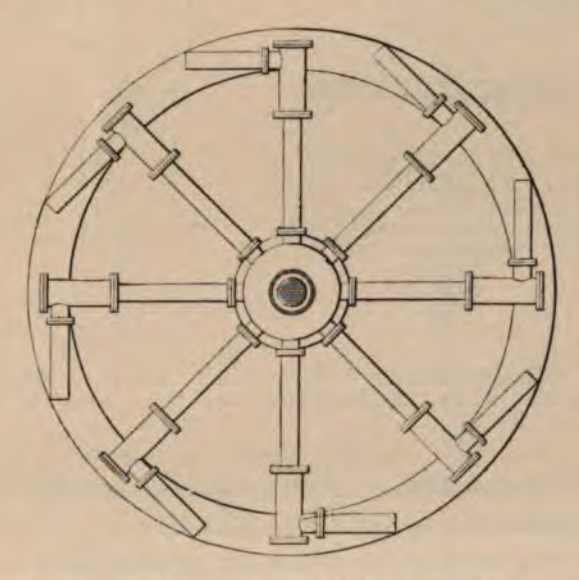


Fig. 21. — Moteur à réaction *Fénéon* (1827). Élévation.

avec leurs têtes ; les tubes radiaux aboutissent à un tambour, dans lequel la vapeur est introduite par un manchon qui entoure l'arbre du volant, et auquel le tuyau amenant la vapeur de la chaudière est relié avec lui par un joint tournant. On peut régler facilement la puissance et la vitesse de cette machine en ne mettant en jeu qu'un certain nombre de tubes moteurs. On peut aussi, en plaçant plus de tubes, augmenter la force. En plaçant les tubes moteurs d'un côté du volant en sens inverse de ceux de l'autre côté, on aurait une machine à changement de marche et réversible.

En **1830 Ericsson** fait breveter un dispositif de moteur à réaction.

Stoddard, 1835. — La figure 22 représente un bras moteur B, avec l'indication de la conduite de vapeur C. La figure 23 est une coupe d'un appareil monté, dans lequel la vapeur arrive par le tuyau 4 et l'arbre creux.

Sur la figure 24, nous voyons une ouverture 5, pratiquée dans l'enveloppe de l'appareil pour l'échappement de la vapeur.

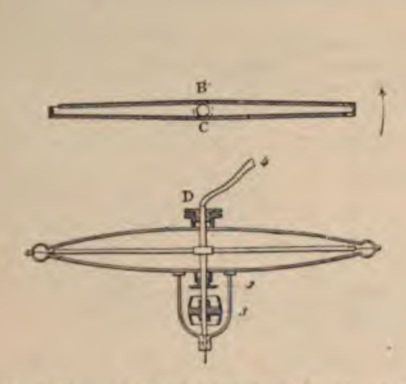


Fig. 22 et 23. — Moteur à réaction *Stoddard* (1835). Coupe d'un bras moteur et de l'ensemble du moteur.

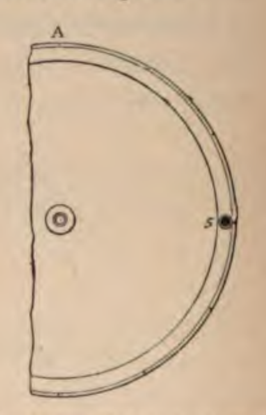


Fig. 24. — Moteur à réaction *Stoddard*. Détail.

Poole et Pilorge, 1835. — Divers détails de cette machine rotative sont représentés sur les figures 25 à 29.

Elle se compose d'un axe creux *aa*, tournant dans deux boîtes à étoupes *bb'*, et se termine par un bras également creux *cc*, percé de deux trous *dd'*, pratiqués à chacune des extrémités du bras.

La vapeur, amenée par le tuyau *e* dans l'axe *a* et le double bras *cc*, s'échappe en jet continu par les ouvertures *d,d'*.

« La vapeur, pour s'échapper, éprouvant, de la part de l'air, une résistance d'autant plus forte que sa propre vitesse ou pression est plus grande, fait fuir, sous cette résistance, et toujours dans un sens opposé, dit l'auteur, le bras par l'extrémité duquel elle s'échappe.

« Le bras *cc*, dans son mouvement, entraîne l'axe *aa*, avec lequel il fait corps et qui porte une poulie *f*, servant à communiquer le mouvement et la force de ce moteur.

« Ce bras ayant 0,915 de longueur totale, c'est-à-dire environ

46 centimètres de bras de levier, et chacunes des ouvertures *dd* ayant 4 millimètres carrés de surface, la vapeur agissant sous une pression de cinq atmosphères, ce bras fera près de quatre

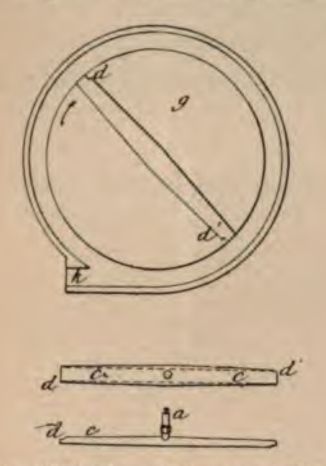


Fig. 25 et 26. — Moteur à réaction *Pool et Pilorge* (1835). Détails du bras moteur.

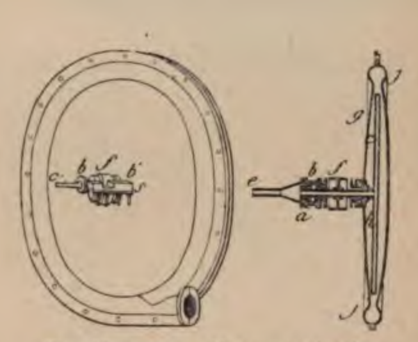
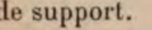


Fig. 27 et 28. — Moteur à réaction *Pool et Pilorge*. Elévation et coupe transversale.

mille tours par minute, et communiquera à l'axe *a* et à la poulie *f* une force égale à celle d'une machine ordinaire de dix chevaux. »

Pour éviter le refroidissement par l'air ambiant et la résistance que celui-ci pourrait opposer au mouvement, on enveloppe le bras *cc* (fig. 28) par deux plateaux *g*.*g*, boulonnés ensemble par leur pourtour, dont l'un, percé d'un trou par l'axe *a'*, porte la boîte à étoupe *b'*, ou même fait corps avec celle-ci; l'autre sert simplement de recouvrement, et peut aussi faire office de base ou de support.



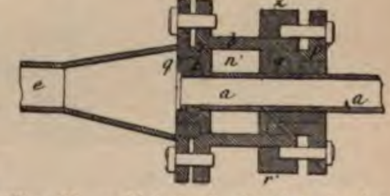


Fig. 29. — Moteur à réaction *Pool et Pilorge*. Détail de la boîte à étoupe.

La forme de ces plateaux doit être telle qu'elle oppose le moins d'obstacle possible au mouvement de rotation du bras dans un sens et qu'elle laisse une libre issue au courant de la vapeur dans l'autre sens. De là, nécessité, pour ainsi dire, d'isoler ces deux courants et, par conséquent, de rétrécir circulairement l'espace entre les deux plateaux vers l'extrémité

du rayon du bras, en *jj*, de sorte que l'enveloppe forme comme deux chambres distinctes : l'une *hh*, dans laquelle se meut le bras *cc*, qui, dans sa rapide rotation, y fait sa place et peut-être son vide ; l'autre *jj*, formant un conduit circulaire pour le dégagement de la vapeur qui s'échappe par l'ouverture tangentielle *k*, à laquelle on fixe un tube *b*, qui conduit la vapeur en dehors si on ne l'utilise pas autrement.

Jacquemet, 1837. — Jacquemet se pose le problème de trouver

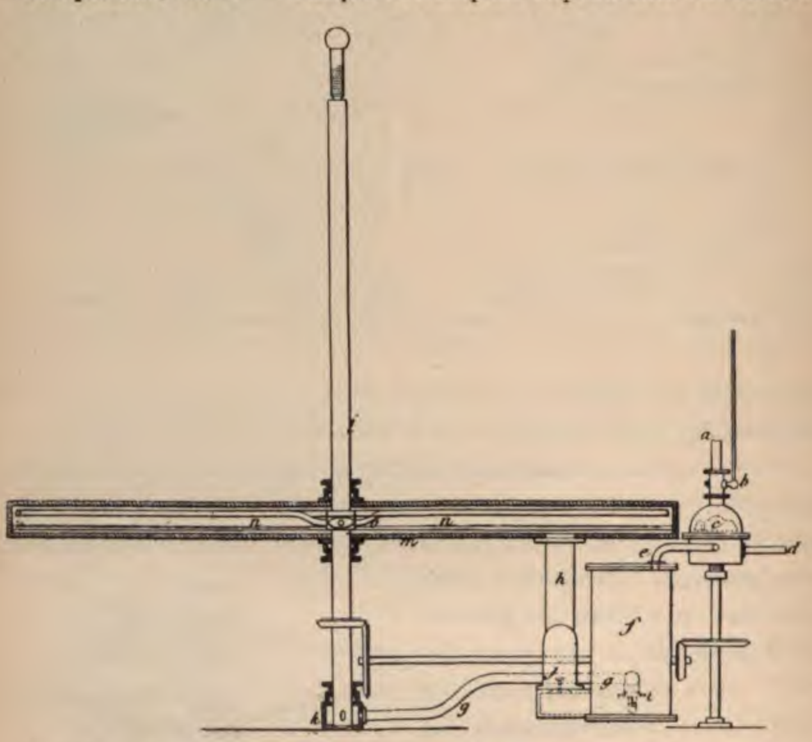


Fig. 30. — Moteur à réaction *Jacquemet* (1837). Élévation et coupe partielle.

le moyen de modérer sans perte d'effet utile la vitesse d'écoulement des vapeurs à haute pression et d'utiliser en même temps la puissance que l'on peut en obtenir en les détendant successivement.

Son système consiste à modérer cette vitesse par l'interposition d'un liquide quelconque qui, sous une pression de plusieurs atmos-

phères, s'échappe avec la vitesse qu'on peut lui donner en pratique aux orifices d'écoulement.

La nature de ce liquide peut varier suivant l'usage auquel il est destiné ; mais il est beaucoup plus avantageux d'employer des liquides qui ne se vaporisent pas, qui ne se décomposent et ne se volatilisent qu'à une très haute température, les huiles grasses par exemple.

Les figures 30 et 31 représentent l'élévation et le plan d'une machine rotative à détente complète et sans condensation : *a* est

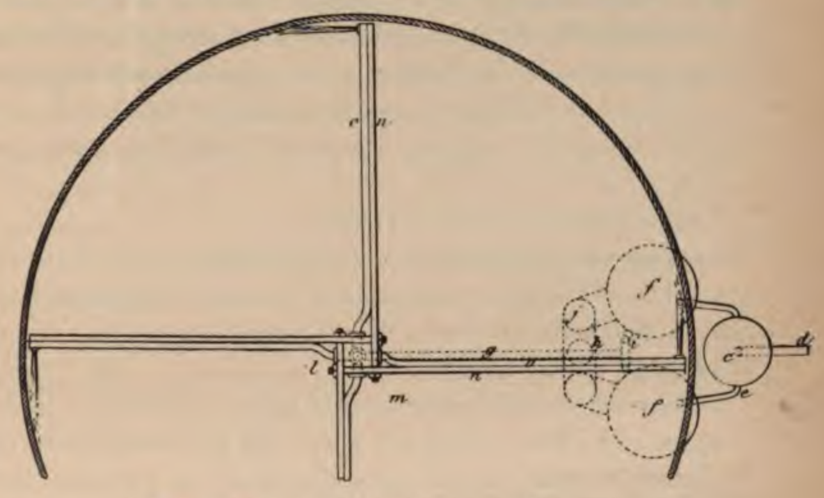


Fig. 31. — Moteur à réaction *Jacquemet*. Plan.

le tuyau d'introduction de vapeur ; — *b*, robinet de l'introduction, soumis à un modérateur à force centrifuge ; — *c*, robinet tournant pour la distribution de la vapeur, commandé par un engrenage correspondant à l'arbre moteur, mettant alternativement chacun des cylindres *ff* en communication avec le générateur puis avec le tuyau d'évacuation *d* ; — *ee*, tuyaux d'introduction de la vapeur dans les cylindres, se fermant par *c* au moment où la vapeur ne doit plus agir qu'en se détendant ; — *ff*, cylindres communiquant avec le tuyau *g*, qui conduit le liquide dans l'appareil et avec le tuyau *h*, communiquant avec la chemise de l'appareil ; — *ii*, soupapes fermant le tuyau *g* et s'ouvrant pour laisser échapper le liquide lorsque la pression existe dans l'intérieur du cylindre *f*

correspondant; — *j*, soupape fermant le tuyau *h* lorsque la pression existe dans l'intérieur du cylindre et s'ouvrant au moment de l'évacuation de la vapeur pour laisser entrer alternativement dans l'un et dans l'autre des cylindres, le liquide qui jaillit de l'appareil dans l'enveloppe *m* ; — *k*, boîte recevant le liquide comprimé dans laquelle pivote l'arbre moteur et qui est hermétiquement fermée par une boîte à étoupe ; — *b*, arbre moteur creux dans sa partie inférieure et percé, en *k*, de plusieurs ouvertures latérales ; — *m*, enveloppe fermée au moyen de deux boîtes à étoupe et communiquant alternativement avec celui des cylindres qui se trouve en communication avec l'atmosphère ; — *n*, barres de fer boulonnées sur la partie carrée de l'arbre ; — *o*, tuyaux communiquant avec la partie creuse de l'arbre s'appuyant contre les barres de fer auxquelles ils sont liés, et percés à leur extrémité, d'un orifice latéral.

Voici comment marche l'appareil.

Aussitôt que, par la position du distributeur *c*, la vapeur vient presser sur le liquide contenu dans l'un des cylindres *f*, le refoulement du liquide fait fermer brusquement la soupape *j* et ouvrir la soupape *i* de ce cylindre.

Le liquide, se précipitant dans le tuyau *g*, maintient fermée la soupape *i* de l'autre cylindre et passe, par *kf*, dans la partie creuse de l'arbre moteur, monte dans l'appareil, se précipite dans les tuyaux *o*, dont il s'échappe à la circonférence, par les orifices latéraux, sous une pression égale à celle de la vapeur, en communiquant à la machine, par réaction, un mouvement de rotation qu'accélère encore l'effet de la force centrifuge.

La vapeur agissant alternativement dans l'un et dans l'autre des cylindres *ff*, qui se remplissent aussi alternativement du liquide qui s'y écoule par son propre poids aussitôt que l'évacuation se trouve ouverte, produit un mouvement de rotation continu.

A la mise en marche, une certaine quantité de vapeur se condense par son contact avec l'huile à la température ordinaire ; mais, au bout de quelques instants, l'huile ayant acquis toute la chaleur que ce contact peut lui donner et ne la perdant pas, puisqu'elle ne se trouve pas en contact avec l'air extérieur, la vapeur agit presque sans perte.

Passot, 1838. — La figure 32 représente une coupe de la roue Passot, perpendiculaire à son axe. Cette roue se compose essentiellement d'un tambour ABC, autour ou sur les côtés duquel sont fixés des appendices creux, ayant la forme de cornues. On remplit l'appareil d'eau jusqu'à une certaine hauteur, puis on porte la température au point d'ébullition en chauffant principalement du côté E, où les cavités des appendices se trouvent dans une position renversée : alors l'eau de ces cavités se vaporise en partie, la vapeur dégagée en chasse le liquide ; ces espèces de cornues, devenues légères, s'élèvent, pendant que l'eau refoulée par la vapeur remplit celles du côté D, à mesure qu'elles s'abaissent au-dessous de son niveau. Tel est le mode de formation et d'action de la vapeur pour obtenir immédiatement un couple de rotation continue.

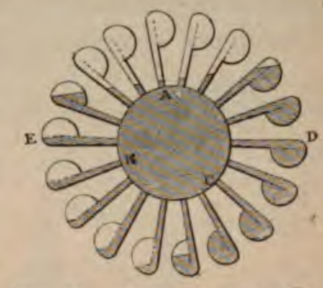


Fig. 32. — Moteur *Passot* (1838). Coupe transversale.

Burstall, 1838. — La figure 33 représente la section de la roue

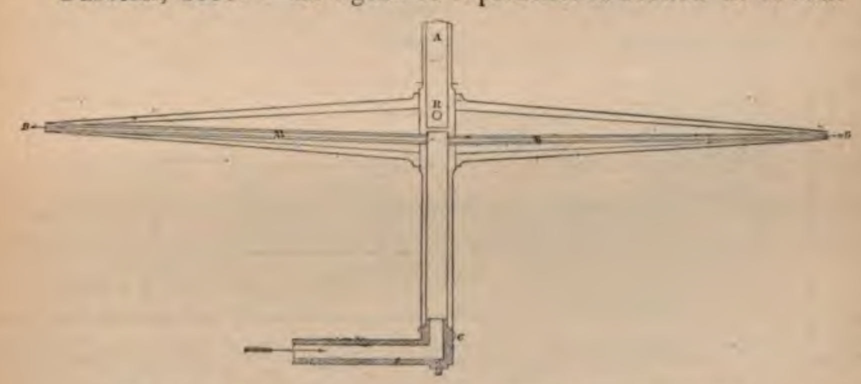


Fig. 33. — Moteur à réaction *Burstall* (1838). Coupe transversale.

et des conduites de vapeur. La roue est montée sur un axe creux qui amène la vapeur.

La figure 34 représente une roue montée de façon à permettre le changement de direction. Si l'on veut faire tourner l'appareil dans le sens de la flèche L, on lance la vapeur dans le bras B ;

pour le faire tourner dans le sens de la flèche M, il faut introduire la vapeur dans le bras A.

La figure 35 représente la section d'une machine double et la

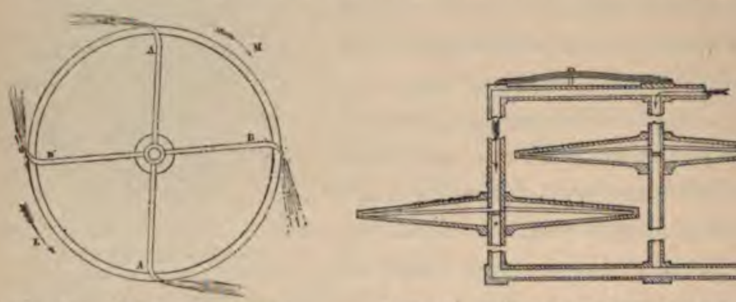


Fig. 34. — Moteur à réaction *Burstall*. Élévation.

Fig. 35. — Moteur à réaction *Burstall*. Coupe d'une roue double.

figure 36 l'application de cette machine à la traction. Sur les arbres de ces deux roues, sont fixées, de chaque côté, des poulies

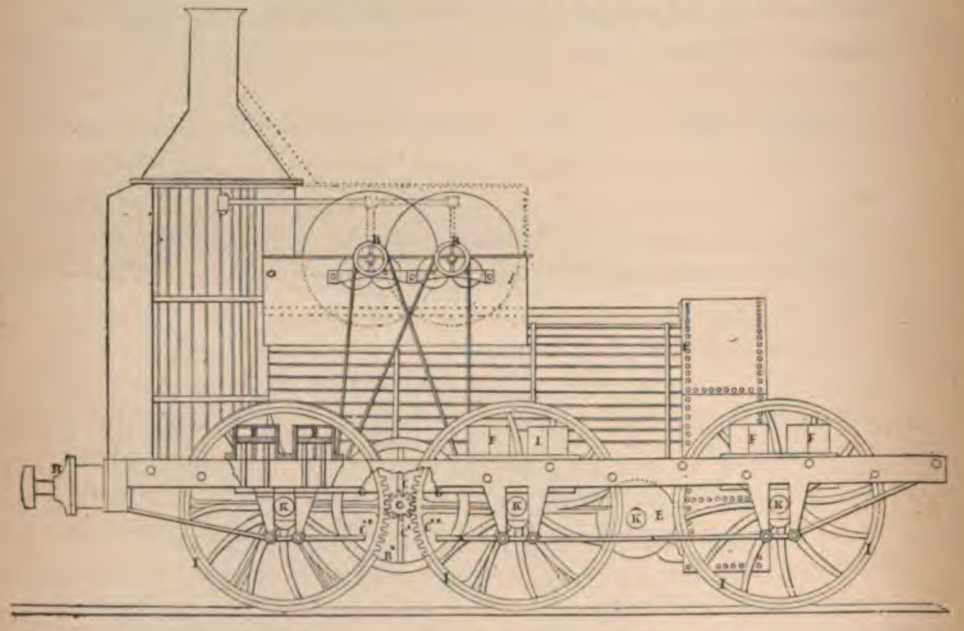


Fig. 36. — Moteur à réaction *Burstall*, appliqué à la traction.

à gorge B, qui attaquent, par cordes, d'autres poulies B′, placées en dessous. Sur l'arbre de ces dernières, sont fixés des pignons C,

qui engrènent avec les roues dentées C′, faisant corps avec les essieux K, et, par conséquent, entraînant les roues I de la locomotive.

Pelletan, 1838. — Les figures 37 et 38 représentent l'ensemble du moteur.

On y a figuré en 1 l'axe de rotation ; en 3, 3, 3, etc., les rayons courbes sur lesquels le courant est dirigé, en, 3′, 3′, 3′, etc., les

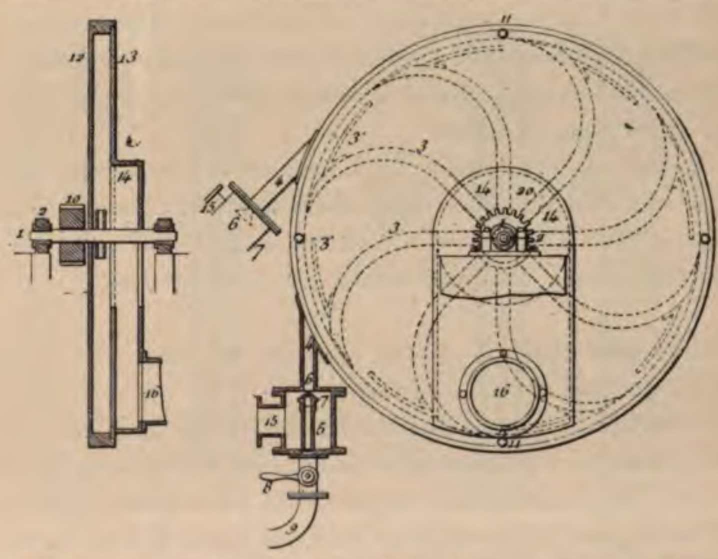


Fig. 37 et 38. — Turbine à vapeur *Pelletan*. Coupe et vue d'ensemble.

pièces qui conduisent le courant de vapeur jusqu'à l'entrée des courbes; en 14, 14, 14, etc., les espaces par lesquels la vapeur arrive vers le canal central.

La roue est fermée, sur ses deux faces, par deux plaques de tôle, qui vont jusqu'à la circonférence, mais dont l'une est ouverte au centre pour communiquer avec le tambour ou cylindre fixe 12, 13.

12, 12 est le plateau de fonte recevant le couvercle 13, 13, qui ferme le cylindre fixe ; 14, le tambour en fonte qui permet l'évacuation des gaz par l'ouverture 16 ; 9, le tuyau qui amène la vapeur ou l'air comprimé ; 8, le robinet qui règle l'entrée de la vapeur par l'injecteur ; 6-4, le canal qui conduit le mélange dans

la machine et le projette tangentiellement sur les ailes du tambour; 7, l'espace dans lequel l'air extérieur est aspiré; 15, l'ouverture à bride pour recevoir un tuyau qui amène de l'air du fourneau ou de tout autre point;

2, 2, les paliers qui portent l'axe de la machine;

10, le pignon d'engrenage, poulie bombée ou poulie à gorge, qui transmet le mouvement par engrenage, par courroie ou par une corde sans fin.

Le cylindre en fonte extérieur est solidement fixé pendant que le tambour mobile tourne librement dans son intérieur. Les ailes sont courbes, de manière que le fluide entre toujours par la tangente et sort vers le centre.

Dans une note présentée à l'Académie des Sciences, l'auteur dit que son système est principalement fondé sur l'action d'un jet de vapeur entraînant avec lui d'autres fluides élastiques. La vapeur est employée par impulsion et non par pression.

Leroy, 1838-1840. — Cette machine est basée sur le même principe que toutes celles à réaction.

Les machines représentées sur les figures 39 à 43 sont disposées de manière à profiter de la détente de la vapeur, conjointement avec la réaction, pour augmenter la force d'impulsion. Pour cela, on dispose à l'extrémité du tube qui forme le bras, autour de l'ouverture par laquelle la vapeur s'échappe, soit un entonnoir aplati (fig. 39 et 40), soit un tube court (fig. 41 à 43); dans cette dernière disposition, la répulsion est plus grande. Il en résulte augmentation de force et moindre dépense de vapeur. Pour multiplier l'effet de la réaction, le tube dans lequel s'opère la détente pourrait être, dans sa longueur, percé d'un certain nombre de petites ouvertures, qui traverseraient ses parois très obliquement. On voit, dans les diverses figures, la disposition du tambour en tôle ou en fonte, dans lequel tourne le tube, afin d'empêcher son refroidissement. On voit également l'axe creux par lequel la vapeur entre dans le bras.

La forme plate du bras est importante, attendu que l'air lui oppose moins de résistance qu'un tube rond; mais, comme par la rapidité de la rotation, il se fait un vide dans le centre du tam-

bour, il n'y a point de grande résistance à vaincre ; il suffirait d'ailleurs de placer, en avant et en arrière du tube, deux lames se joignant à angle aigu. On peut, comme il est représenté sur les figures 44 et 45, placer le tube entre deux disques avec lesquels il tourne ; ces disques, faits d'une lame de cuivre ou de tôle, sont très rapprochés du tube et de l'entonnoir dans lesquels la détente s'opère. Le diamètre du second tambour formé par l'accolement

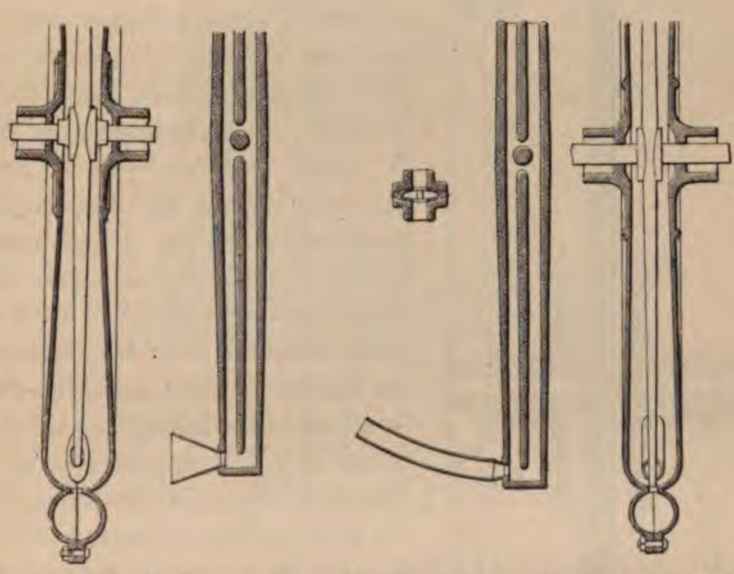


Fig. 39 et 40. — Moteur à réaction *Leroy* (1838). Détails du bras moteur.

Fig. 41, 42 et 43. — Moteur à réaction *Leroy*. Détails du bras moteur.

de ces deux disques est très voisin de celui de l'intérieur du tambour externe dans lequel il se meut avec le tube, ne réservant entre eux que le jeu indispensable pour en éviter le frottement. Par ce moyen, le tube ne rencontre point d'air à déplacer dans l'intérieur du tambour et n'éprouve point de résistance.

Pour transmettre le mouvement extrêmement rapide imprimé par une machine rotative de cette nature, dont la vitesse est de plusieurs milliers de tours par minute, on peut se servir d'une transmission par vis sans fin.

Dans les locomotives et les bateaux à vapeur, et en général dans toutes les applications où les machines doivent changer le

sens de leur marche, ce changement s'obtient, soit par des trains d'engrenages, soit en plaçant sur l'arbre du moteur deux tubes ou bras au lieu d'un, percés à leurs extrémités de trous dirigés en sens contraire et en faisant, au moyen d'un robinet, passer à volonté la vapeur tantôt dans l'un, tantôt dans l'autre de ces tubes.

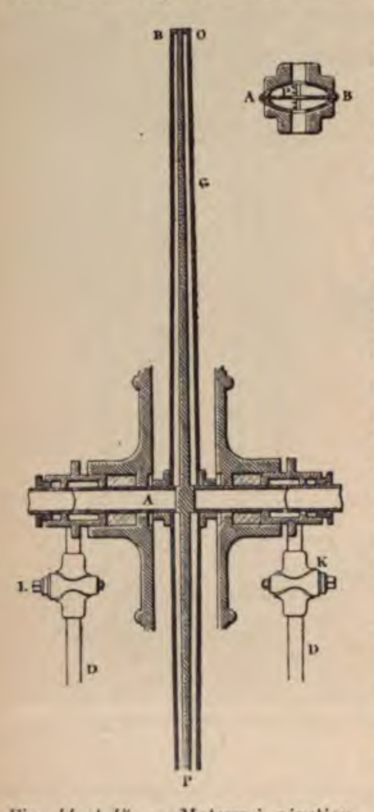


Fig. 44 et 45. — Moteur à réaction *Leroy*. Coupe transversale.

On pourrait encore obtenir cet effet par une autre disposition, représentée sur la figure 45. Une cloison P, pratiquée dans toute la longueur du bras G, le partage en deux parties égales ; une cloison analogue est également placée dans le centre de l'axe creux A. Deux tubes de vapeur DD arrivent aux deux bouts de l'axe et pénètrent à travers les boîtes à étoupes dans l'axe creux. Chacun d'eux est muni d'un robinet K et L ; les extrémités du tube, au lieu d'être percées d'une seule ouverture latérale, en ont deux diamétralement opposées *o*, *o* ; la vapeur arrive par un des tubes, celui de K par exemple ; l'autre robinet L étant fermé, elle se répand dans une des moitiés du bras et sort par les ouvertures BB. Veut-on changer le mouvement ? on ferme le robinet K, on ouvre le robinet L ; la vapeur passe dans l'autre moitié du bras, et la rotation a lieu en sens inverse, la vapeur s'échappant alors par les ouvertures *o*, *o*.

Dans les machines précédentes, la détente de la vapeur seule s'ajoute à la réaction ; dans celle dont la description va suivre, nous avons en plus la condensation.

La figure 46 représente la coupe horizontale de la machine.

a, *a* sont deux tambours ;

m et *m'*, deux registres qui s'abaissent après le passage du bras.

n et *n'*, les cylindres dans lesquels les registres passent quand ils sont écartés ou soulevés;

o, *o*, les ressorts en spirale, qui font descendre ou rapprocher les registres ;

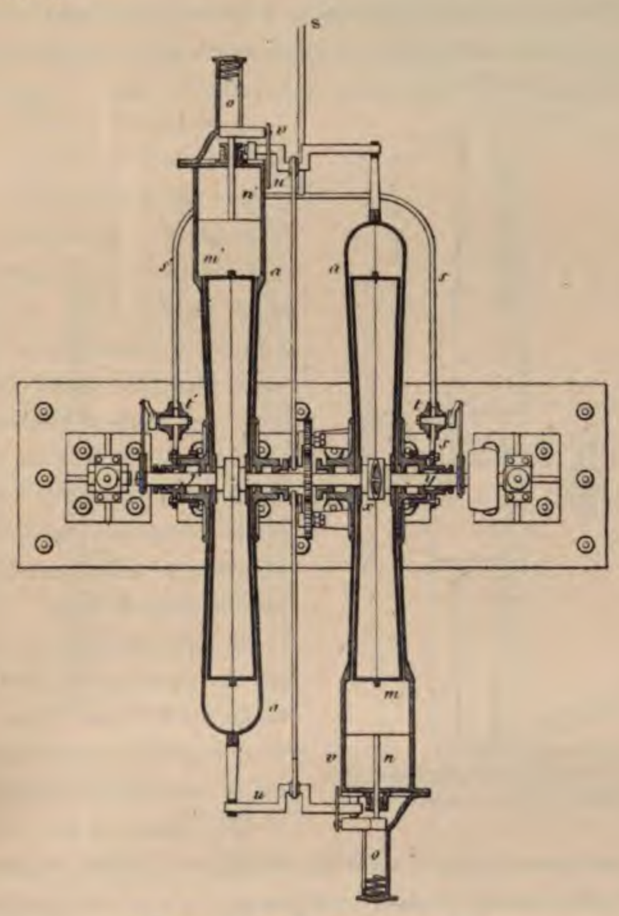


Fig. 46. — Moteur à réaction *Leroy*.

u et *u'*, les arbres qui servent à écarter les registres au moyen des cames d'échappement *v*, *v* ;

x, l'entrée de la vapeur de l'axe creux dans le bras ;

y et *y'*, les ouvertures par lesquelles la vapeur pénètre dans l'axe creux garni de boîtes-étoupes au dedans et au dehors ;

s et *s'*, les tubes par lesquels la vapeur pénètre alternativement

dans chaque bras ou tube rotateur. Cette introduction alternative est produite par le jeu des robinets t et t'.

Voici comment fonctionne cette machine. La vapeur, arrivant par le tube s, passe par le tube s', dont le robinet t' est supposé ouvert, elle entre dans l'axe creux par l'un des trous y' dont il est percé ; de là, elle passe dans le bras de a' et s'échappe par l'ouverture qui le termine, pour se répandre dans le tambour a. Le registre m' se referme, puis, lorsque le bras est au tiers ou même au quart de sa course, le robinet t' se ferme, le robinet t s'ouvre et la vapeur passe dans l'autre tube, où elle se comporte comme nous venons de le dire. En avant des registres, deux tubes, constamment ouverts, si ce n'est au moment où le bras passe sur leurs orifices, communiquent au condenseur et font constamment le vide dans le bras.

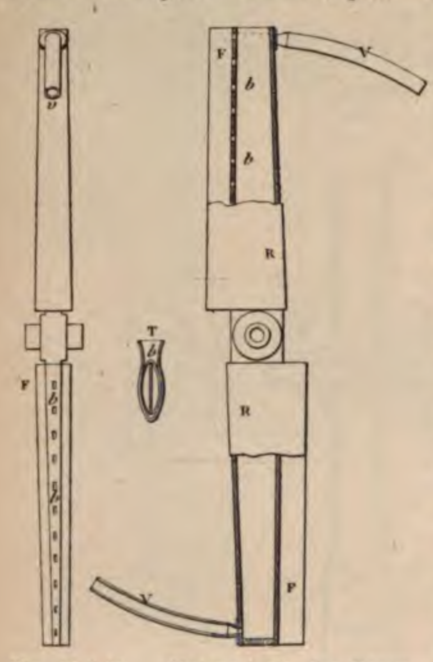


Fig. 47 à 49. — Moteur à réaction *Leroy*. Détails du bras moteur.

On peut se servir, pour aspirer la vapeur et la conduire au condenseur, du bras même dans lequel la vapeur arrive et où la réaction s'opère (fig. 44 et 45). Dans ce cas, l'un seulement des tubes D ou D′ va à la chaudière, l'autre communique avec un condenseur, en sorte que la vapeur arrivant par une des moitiés du tube est aspirée par l'autre, et que le vide se fait constamment au-devant du bras tournant.

Voici l'une des dispositions que l'on peut donner à ce bras (fig. 47 à 49).

Une série de trous bb sont placés du côté opposé à la sortie de vapeur ; c'est par ces ouvertures que la vapeur échappée dans le tambour est aspirée par le condenseur. Le bras est enveloppé d'une garniture de tôle R, qui forme un évasement FF, dont les

bords touchent presque les parois du tambour. De petites traverses placées à peu de distance l'une de l'autre empêchent l'écartement de ces oreilles ou pavillons.

L'aspiration et le vide produits devant le bras tournant sont une force nouvelle à ajouter à celle de la réaction et de la détente.

Pour empêcher toute résistance de la part de l'air contenu dans

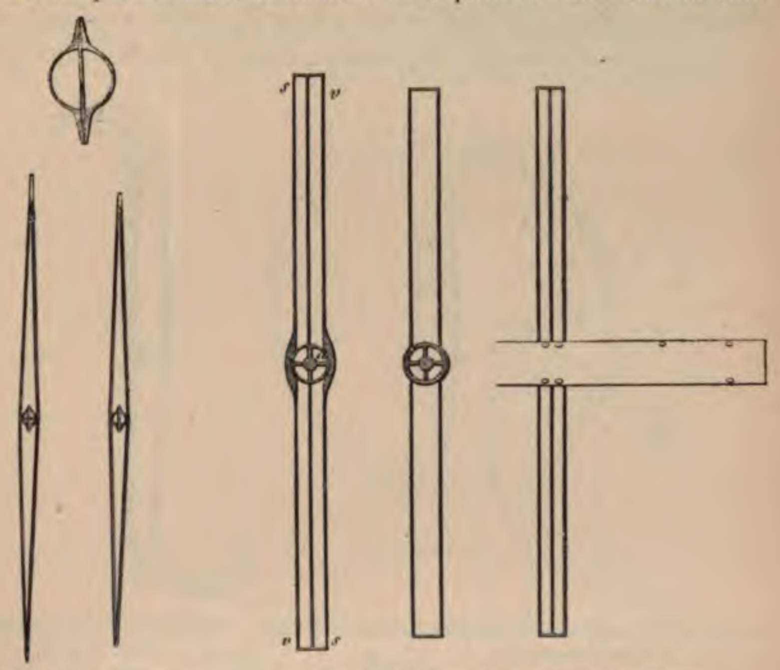


Fig. 50 à 52. — Moteurs à réaction *Leroy*. Coupe. Détails du bras moteur.

Fig. 53 à 55. — Moteur à réaction *Leroy*. Détails du bras moteur.

le tambour, le bras est placé entre deux disques qui viennent se réunir à angle aigu de manière à former une lentille à bords tranchants (fig. 50).

Les figures 51 à 55 représentent le tube mobile et l'axe divisés en quatre compartiments ; cette disposition a pour objet de permettre de produire dans le même bras la réaction, l'aspiration et le changement du sens de la rotation.

Cherchant à augmenter l'effet de la réaction, Leroy suggère diverses explications de ce phénomène. « Les uns — dit-il — l'expliquent parce que la pression de la vapeur s'exerçant sur tout l'inté-

rieur du tube excepté dans l'ouverture par laquelle elle s'échappe, l'équilibre est ainsi rompu en ce point, ce qui détermine une pression effective sur la paroi opposée du tube. D'autres, se fondant sur le peu de vitesse des fusées dans le vide, sur leur accroissement d'énergie, sinon de vitesse sous l'eau, pensent que les gaz et la vapeur éprouvent, de la part de l'air, une résistance à leur sortie qui produit une réaction sur le tube duquel ils s'échappent. »

Admettant cette dernière hypothèse, l'auteur donne à la vapeur



Fig. 56 et 57. — Moteur à réaction *Leroy*. Vue d'ensemble.

Fig. 58. — Moteur à réaction *Leroy*. Coupe du bras moteur.

un point d'appui plus solide que l'air ; ce sont des plaques ou disques disposés tangentiellement à l'axe du bras, dans le pourtour du tambour, de manière que la vapeur vienne les frapper en s'échappant.

La partie externe de ces plaques, dans le point où elles touchent au pourtour du tambour, peut à volonté être percée d'une ouverture formant canal pour favoriser le dégagement de la vapeur. Cependant, il y aurait avantage à ne pas faciliter la sortie de la vapeur, pour augmenter la puissance de la réaction par la résistance plus grande qu'éprouverait la vapeur à sa sortie du bras ; le tube d'aspiration serait seul chargé de l'expulsion de la vapeur, et son action en serait augmentée d'autant ; une soupape de sûreté placée

sur le tambour limiterait la pression de la vapeur dans le tambour.

Ce dispositif est représenté sur les figures 56 et 57, dans lesquelles on a indiqué : en *a* le tambour ; en *pp* les plaques de réaction ; en *b* le bras ; en *d*, l'un des disques, joints par leurs bords, entre lesquels est interposé le tube.

On peut faire en sorte qu'un disque mince vienne retomber aussitôt après le passage du bras et fermer l'échancrure *e* de la plaque *p* ; une saillie placée sur l'un des disques déplacerait, avant

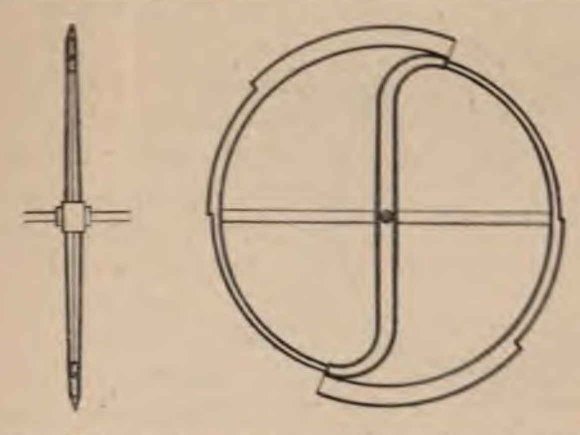


Fig. 59 et 60. — Moteur à réaction et à grande détente *Leroy*. Coupe transversale.

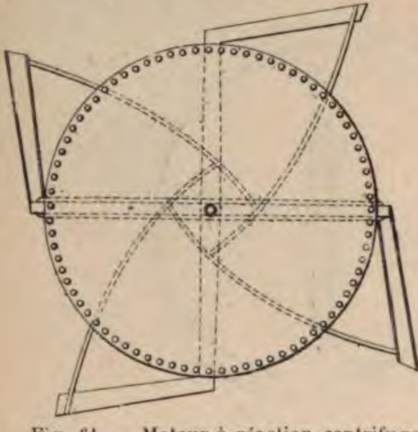
le passage du bras, ces obturateurs, qui doivent être légers en même temps que mobiles et résistants.

Si le bras moteur est pourvu à son extrémité d'un ajutage de détente, l'abaissement des disques n'aura lieu qu'après le passage de l'ajutage. Pour éviter les angles et les courbures brusques, l'auteur imagine un bras ayant la forme d'un S (fig. 58), avec, en R, un rétrécissement formant une ouverture à double évasement et un élargissement E, dans lequel s'opère la détente. Il est important, quelle que soit la forme de l'ajutage, qu'il ait une certaine longueur, parce que la détente de la vapeur est très faible près du trou de sortie.

« En plaçant dans de l'eau ou dans un liquide quelconque les bras et les disques lenticulaires qui les enveloppent et tournent avec eux, la résistance que présente ce milieu plus dense que l'air à la sortie de la vapeur augmente la puissance de la réaction ainsi que

l'effet produit ; en outre la vitesse de rotation est plutôt diminuée qu'augmentée, ce qui est un nouvel avantage. »

En étudiant la forme du jet de vapeur, Leroy a été conduit à donner plus d'extension encore à cette idée : au premier bras, aplati et courbe, on ajoute un tube, de même épaisseur, mais d'une capacité plus grande ; à ce second, un troisième plus grand encore ; puis un quatrième, etc., afin de produire, à chaque élargissement du tube, une détente nouvelle. Ces tubes aplatis, enroulés sur eux-mêmes, n'augmentent pas l'épaisseur totale du moteur ; ils sont compris entre deux disques de cuivre accolés par leurs bords excepté dans les points où ils s'ouvrent aux deux extrémités de la spirale qu'ils forment, ainsi qu'on le voit sur les figures 59 et 60.


Fig. 61. — Moteur à réaction centrifuge *Leroy*. Elévation.

La force centrifuge développée par la machine en mouvement et celle de la vapeur sont telles, qu'au lieu de tubes complets, l'on pourrait employer des gouttières plates, concentriques à l'axe, et plus ou moins espacées.

Pour tirer parti de la force centrifuge du jet de vapeur, on peut ajouter, aux extrémités de ces mêmes bras, des gouttières plates, dirigées à peu près suivant la tangente (fig. 61) ; la vapeur sortant du tube par l'orifice de réaction se répand dans cette gouttière, et, par la répulsion qu'elle exerce sur elle, ajoute à la réaction une nouvelle force.

L'action de la vapeur sur ces prolongements obliques peut être comparée à l'action de l'eau sur les aubes courbes des turbines.

Pour mieux utiliser l'énergie de la vapeur, on peut disposer plusieurs bras les uns au-dessous des autres (fig. 62) ; chacun de ces bras a, a', a'', est placé dans un tambour et leurs extrémités

se meuvent dans des anneaux b, b', b'', d'un très petit diamètre ; ces bras vont en diminuant de longueur à partir du plus bas jusqu'au plus haut, ou inversement. Tout l'appareil est renfermé dans une caisse *mn*, que l'on remplit de sciure de bois ou de charbon pilé.

La vapeur arrive par le tube *t*, s'introduit dans le bras *a* par la chambre *c'* de l'axe vertical, et vient, en sortant par les petites

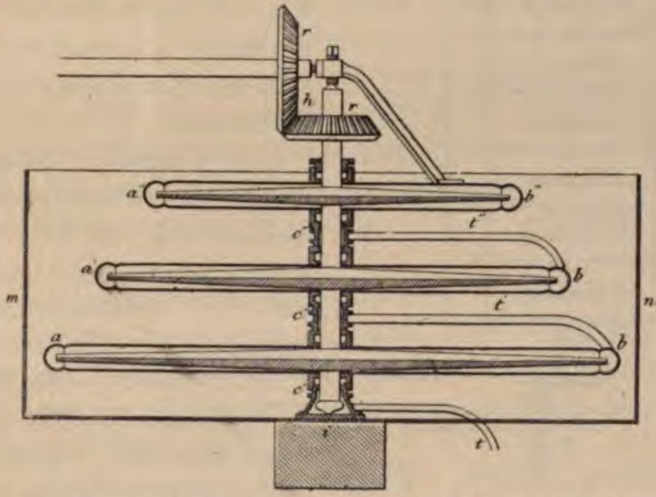


Fig. 62. — Moteur à réaction multiple *Leroy*. Coupe verticale de l'ensemble.

ouvertures pratiquées en sens inverse, donner le mouvement au bras *a* et, par suite, à tout le système. Cette vapeur, renfermée dans le premier tambour *b*, se meut avec la vitesse de son bras, s'échappe, par le tube *t'*, rentre dans la deuxième chambre *c''*, s'introduit dans le second bras *a'*, et sort par des ouvertures pratiquées dans le même sens que celles du premier bras; mais, ayant alors une vitesse moindre que lorsqu'elle arrive directement de la chaudière, il faut, pour en conserver le rendement, la faire agir à l'extrémité d'un bras plus petit que le premier ; il en est de même pour le bras *a''*, et ainsi de suite, jusqu'à son échappement dans l'atmosphère.

Après avoir étudié les meilleures conditions de fonctionnement des machines à réaction, Leroy décrit une *turbine à vapeur à détente et à condensation*.

Le principe de cette nouvelle machine est de faire agir un certain volume de vapeur sur les aubes d'une série de turbines disposées d'une façon telle que la même vapeur agisse d'abord sur les aubes de la première turbine, puis sur celles de la seconde, de la troisième, etc., avec le moins de choc possible, et que cette vapeur ne puisse sortir des aubes que dans une direction en sens inverse de leur mouvement.

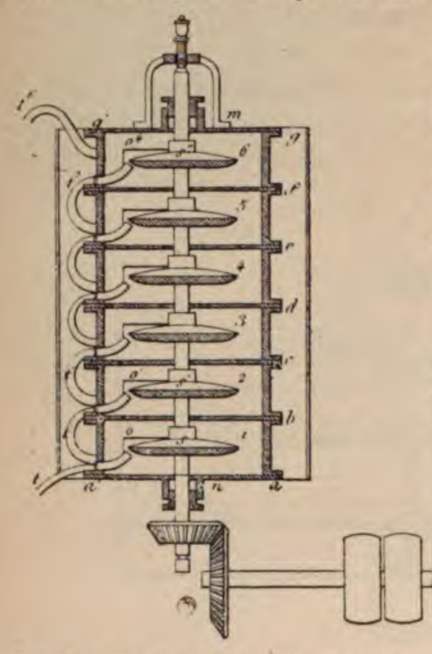


Fig. 63. — Turbine à vapeur *Leroy* à détente multiple et à condensation. Coupe verticale.

Cette turbine à vapeur à détente et à condensation se compose (fig. 63) d'un cylindre *mn*, qui renferme tout l'appareil ; il est lui-même divisé en autant de petits cylindres 1, 2, 3..., que l'on veut mettre de turbines, et séparés par de fortes tôles *bb'*, *cc'*, *dd'*, etc. Toutes ces cloisons sont traversées par un arbre passant par l'axe du cylindre et qui porte les turbines s, s', s'', s'''... Ces turbines ont une forme lenticulaire, afin de diminuer le frottement à leur circonférence ; les différentes cases n° 1, n° 2, n° 3..., communiquent entre elles par les tubes t^1, t^2, t^3... ; les tubes t et t^6 communiquent : le premier, avec la chaudière, le second avec le condenseur ; l'extrémité inférieure de l'axe des turbines repose sur un pivot et l'extrémité supérieure est centrée par une pointe ; il est, en outre, maintenu par deux boîtes à étoupes disposées sur les couvercles inférieur et supérieur du cylindre *mn*; tout l'appareil est enveloppé d'une chemise de sciure de bois afin d'empêcher le refroidissement.

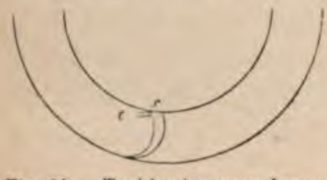


Fig. 64. — Turbine à vapeur *Leroy*. Détail des aubes.

La vapeur amenée de la chaudière, par le tube t, à une très

haute pression, vient agir sur les aubes de la turbine *s* (fig. 64), tangentiellement à la circonférence passant par le point où le jet *t* frappe l'aube. La vapeur, ayant agi par pression sur l'aube, doit nécessairement s'échapper de cette aube ; or, comme elle ne peut le faire que dans une direction inverse à son mouvement, elle réagit, augmente ainsi la vitesse de la turbine, et, par conséquent, sa puissance. Cette vapeur ayant terminé son travail sur la première turbine, n'en a pas moins encore une certaine force élastique et une très grande vitesse dans le sens de la turbine ; elle s'échappe par l'orifice *o*, pratiqué tangentiellement au cylindre, et arrive, par le tube *t'*, sur les aubes de la seconde turbine dans les mêmes conditions que sur la première. Le même phénomène se reproduit ainsi sur les aubes de chaque turbine, et, après avoir agi sur toutes, la vapeur se rend par le tube *t* au condenseur.

Convers, 1839. — Dans divers systèmes de machines à réaction le fluide moteur éprouve une déviation, et, de plus, il est entraîné, par le bras, dans un mouvement de rotation qui lui imprime une force centrifuge, puis il sort avec une certaine vitesse, d'où résulte une perte de force vive.

Ces machines sont défectueuses, parce qu'il faut, pour obtenir un bon rendement, que le liquide ou le fluide sorte de la machine sans vitesse relative notable.

On parvient à ce résultat en réduisant le récepteur à un seul système d'enveloppe, à surface de révolution, ayant pour axe celui même de la machine.

Le récepteur, pour l'application de ce principe, sera donc simplement un appareil cylindrique à base circulaire mobile autour de son axe, et pourvu, à sa circonférence, d'un orifice d'écoulement qui dirigera tangentiellement la sortie de l'agent moteur.

Champavère, 1839. — Cette machine (fig. 65 et 66) se compose essentiellement d'un cylindre fixe vertical, dans lequel tourne une roue à aubes qui reçoit directement l'action de la vapeur.

Le cylindre en fonte AA est maintenu dans une position verticale au moyen des supports BB, fixés sur le socle C.

DD est une roue à aubes E munies, de chaque côté et sur le

milieu, de cames qui ont pour but de faciliter les mouvements d'élévation et d'abaissement des palettes mobiles.

FF, GG′ sont des palettes mobiles, dont les axes de rotation sont supportés par le cylindre fixe ; elles sont construites de façon que, lorsqu'elles sont abaissées, comme en G, elles s'ajustent parfaitement sans fuite sur la jante de la roue de vapeur, et, dans la partie supérieure du cylindre fixe, sont ménagés des loge-

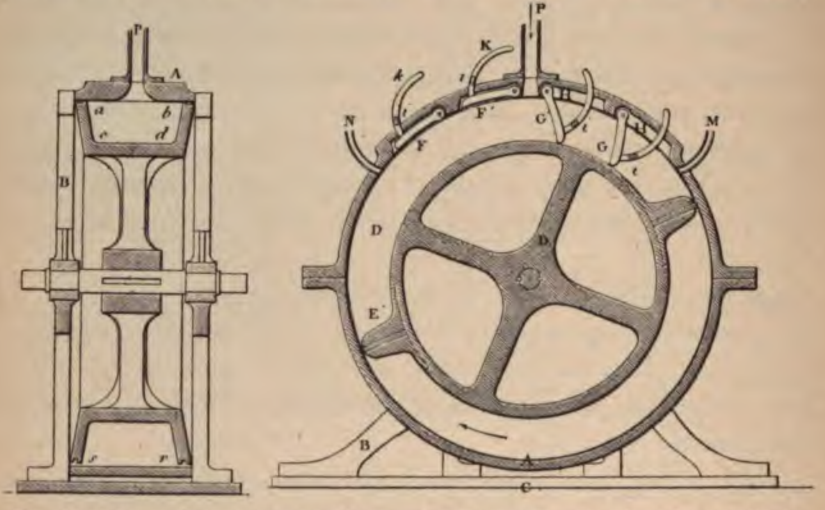


Fig. 65 et 66. — Roue à vapeur *Champavère*. Coupe transversale et longitudinale.

ments HH, qui reçoivent ces palettes quand elles sont relevées ; *ii*, petites mortaises pratiquées sur les tiges, et dans lesquelles on insère des clavettes quand on veut tenir les palettes constamment soulevées ; *kk*, bandes courbes en fer, traversant le cylindre fixe par une boîte à étoupes qui empêche le passage de la vapeur, servant à indiquer si le mouvement des palettes se fait convenablement ;

MN, robinets servant à l'introduction de la vapeur et à en régler la dépense ;

p, tuyau pour la sortie de la vapeur.

Ainsi construite, cette machine est susceptible de tourner dans les deux sens. En supposant que l'on veuille tourner dans le sens de la flèche (fig. 66), le robinet N est fermé, les deux palettes F et F′ sont entièrement relevées et maintenues dans leur position

au moyen de clavettes passées dans les mortaises *ii* ; les deux autres palettes G et G′ sont abaissées. La vapeur entre par le robinet M ; trouvant un appui sur la palette G, elle presse l'aube E et force ainsi la roue à tourner.

Lorsque l'aube E′ vient à rencontrer la palette G′, celle-ci s'élève, poussée par la came fixée à l'aube, et redescend bientôt après, soit par son propre poids, soit pressée par un poids additionnel ou un ressort ; à peine s'est-elle abaissée que la palette G s'élève à son tour pour s'abaisser ensuite.

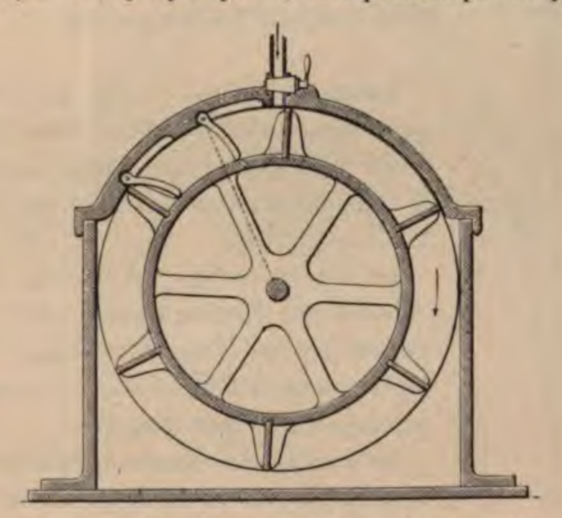


Fig. 67. — Moteur *Champavère*. Coupe longitudinale.

Pendant cette rotation de la roue D, le jet de vapeur peut être continu ; il suffit, pour cela, de tenir le robinet M constamment ouvert, ou bien l'on peut utiliser la détente de la vapeur en disposant le robinet d'introduction de manière à le fermer entièrement puis à l'ouvrir aux moments convenables. Dans ce dernier cas, il conviendrait d'adapter un volant à l'arbre de rotation afin de régulariser le mouvement.

Pour changer le sens de la rotation ou renverser la marche, il suffit de fermer le robinet M, de relever les palettes G et G′, d'abaisser F et F′, et d'ouvrir le robinet N.

Dans le cas d'une forte machine, on pourra adopter les dispositions indiquées dans la figure 67. Ici, la roue est munie de

plusieurs aubes, et le cylindre entier est remplacé par un segment de 60° environ. Le frottement est donc diminué des deux tiers euviron.

En **1839**, **Monnier et Demichalis** présentent à l'Académie des Sciences, un mémoire sur une machine à vapeur à rotation immédiate, qui peut être considérée comme une roue à vapeur à deux palettes.

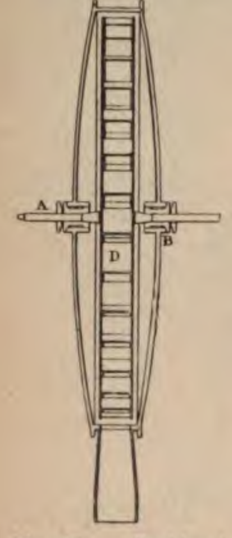


Fig. 68. — Turbine à vapeur *Ewbank* (1841) Roue à aubes.

Ewbank, 1841. — Cette machine se compose principalement d'une roue tournante et d'une boîte cylindrique, dans laquelle on fait le vide, et qui entoure la roue sans toutefois la toucher (fig. 68).

La roue prend un mouvement de rotation continu par l'action directe d'un courant de vapeur entrant dans l'enveloppe tangentiellement à sa circonférence et pressant sur des palettes qui y sont adaptées.

La vapeur sort ensuite de la boîte en traversant un tuyau de décharge et se rend dans un appareil de condensation. Un vide partiel étant ainsi produit dans la boîte, la roue tournera dans ce vide et la vapeur se précipitera dans l'intérieur de l'enveloppe, contre les palettes, avec toute la force et la vitesse qu'elle acquiert en passant dans un espace vide.

La roue tournante ressemble à une roue hydraulique frappée en dessous.

La direction des plans des palettes peut être radiale ou légèrement inclinée sur le rayon comme l'indiquent les traits pointillés de la figure 69.

La vapeur admise par le tuyau H au robinet I passe à travers l'orifice d'entrée H', pour pénétrer dans l'intérieur de l'enveloppe E, de manière à presser sur les palettes placées à la circonférence de la roue et la faire tourner.

Cette roue tournera d'abord lentement, à cause de l'air qui occupe l'intérieur de l'enveloppe E, et qui est chassé par la vapeur

dans le condenseur K, puis au travers des clapets de décharge U, V, W (fig. 70) des pompes à air ou d'une soupape de sortie du condenseur K, comme cela a lieu dans les machines à vapeur à condensation.

A mesure que la roue tourne, elle fait fonctionner les pompes à

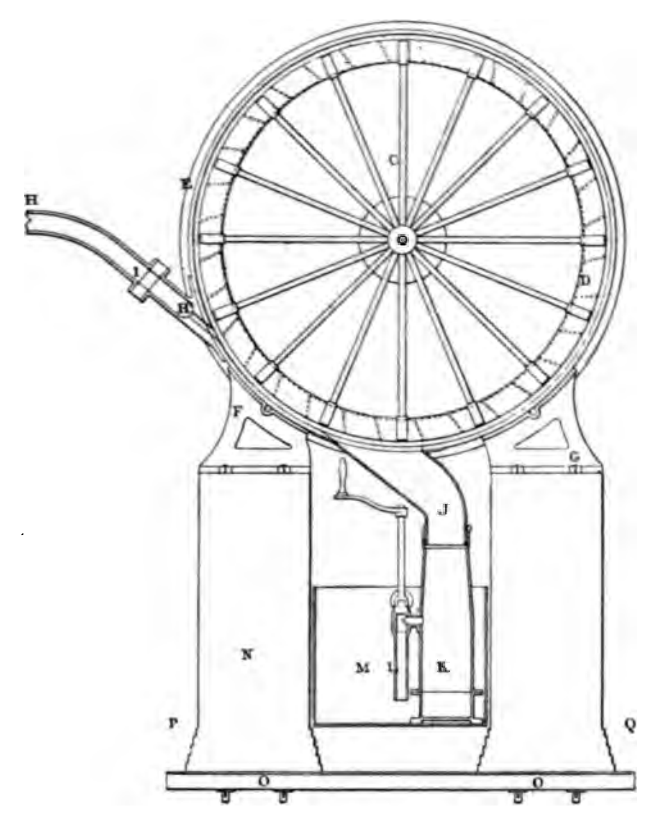


Fig. 69. — Turbine à vapeur à condensation *Ewbank*. Vue latérale.

air qui expulsent promptement tout l'air superflu ; le robinet d'injection étant alors ouvert, un courant continu d'eau froide passe dans le condenseur K, et la vapeur qui y pénètre est aussitôt condensée ; c'est ainsi que le vide s'opère dans l'enveloppe E.

Les flasques et la périphérie de la roue étant convenablement adaptées à la portion de l'intérieur de l'enveloppe E, comprise entre le tuyau d'entrée H' et le tuyau de décharge J, la roue fonc-

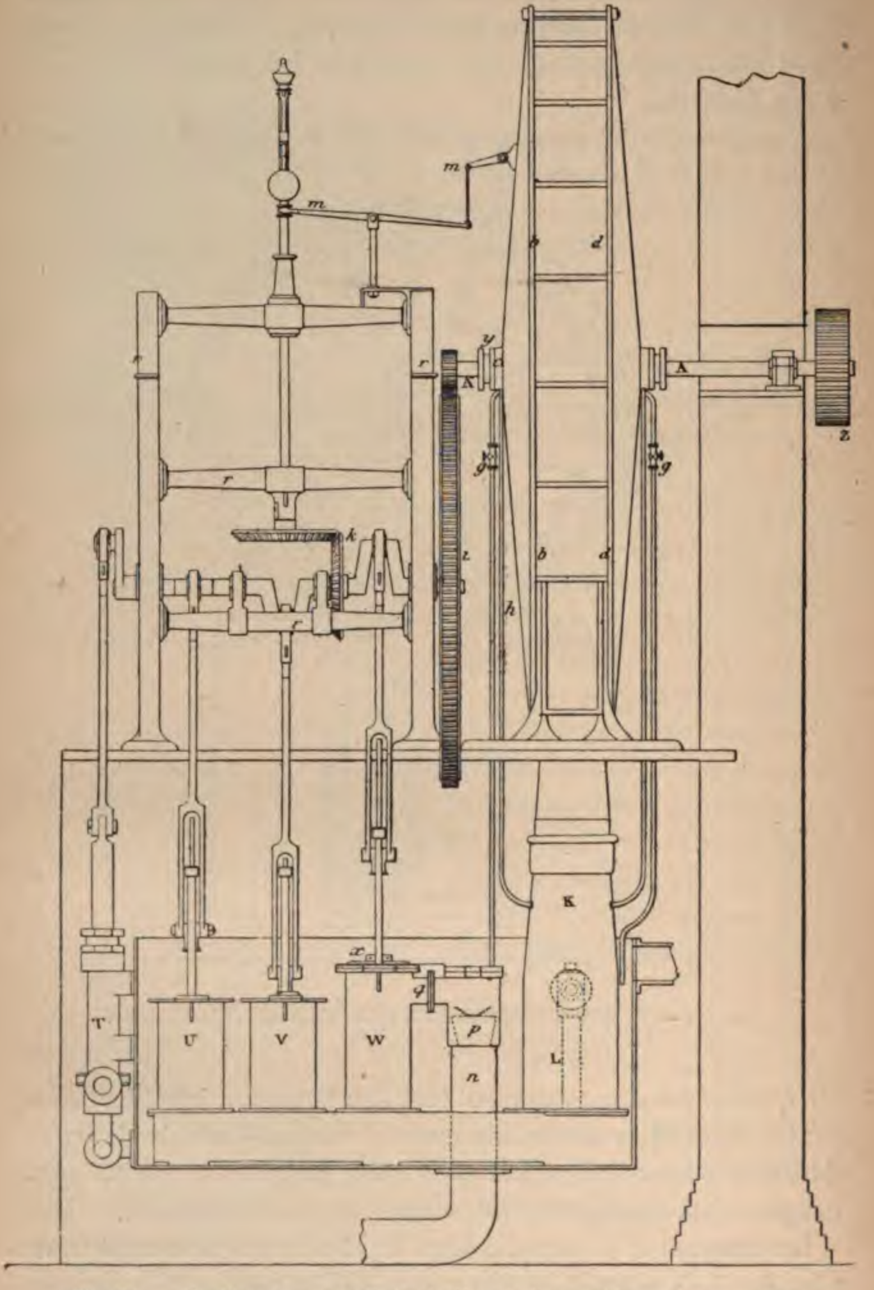


Fig. 70. — Turbine à vapeur *Ewbank*. Vue de l'ensemble, moteur, pompes et condenseur.

tionnera dans un vide de condensation presque complet et n'éprouvera que peu de résistances organiques.

Staitte, 1842. — Dans cette machine (fig. 71), la vapeur, admise par le tuyau *s* et la boîte à étoupe *l*, pénètre dans l'arbre *b* par les ouvertures dont il est percé et passe dans le bras *a a*; elle

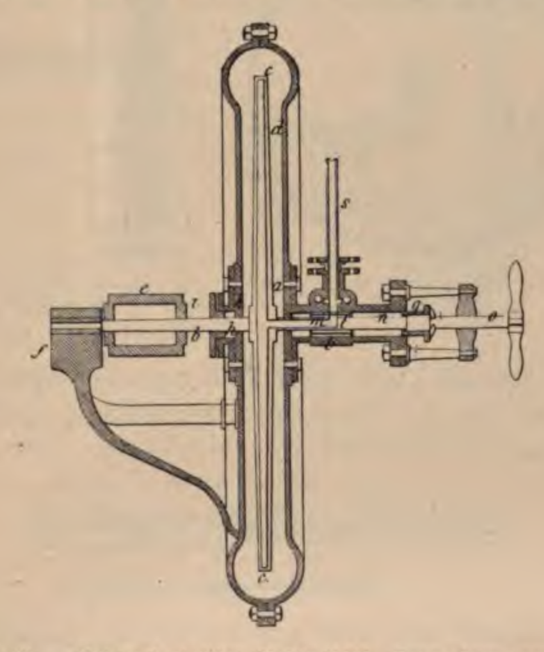


Fig. 71. — Moteur à réaction *Staitte* (1842). Coupe transversale.

s'échappe par les orifices *c*, *c* et force ainsi ledit bras à tourner en sens opposé à celui de l'émission de la vapeur. Le bras entraîne l'arbre *b* auquel il est lié, et ainsi est obtenu un mouvement rotatif, transmis par la poulie *e*.

La boîte *d d*, dans laquelle tourne le bras *aa*, est assez large pour que la vapeur puisse en sortir librement.

Pilbrow, 1843. — La figure 72 représente une roue à aubes de la turbine de Pilbrow avec l'ajutage distributeur placé à l'intérieur.

La figure 73 représente deux roues montées sur le même arbre et enfermées dans une même boîte. Les aubes sont montées en

sens inverse, ce qui permet la marche dans les deux directions opposées suivant qu'on amène la vapeur par *d* ou par *g*.

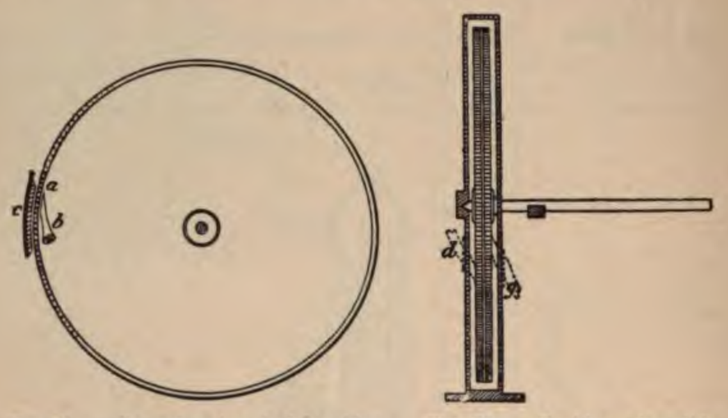


Fig. 72. — Roue à aubes de la turbine *Pilbrow* (1843).

Fig. 73. — Turbine réversible de *Pilbrow*.

Afin de permettre à la turbine de travailler utilement à des vitesses plus réduites, l'inventeur propose le dispositif représenté

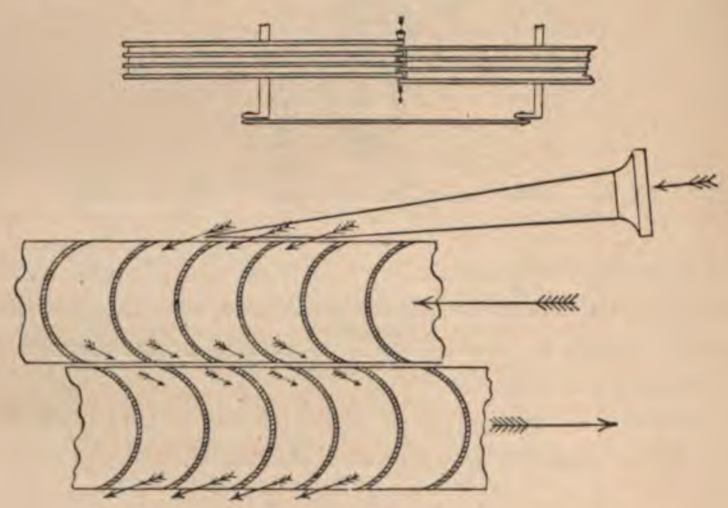


Fig. 74 et 75. — Turbine de *Pilbrow* à plusieurs disques.

sur les figures 74 et 75. Plusieurs disques à aubes sont montés sur deux arbres parallèles et de telle façon qu'à un endroit les

aubes se superposent. La vapeur amenée par un ajutage sur la première roue passe successivement par toutes les autres.

L'auteur mentionne aussi l'emploi de disques mobiles avec des distributeurs fixes.

Lainé Laroche, 1844. — Cette machine se compose d'un arbre creux percé de plusieurs ouvertures latérales et d'un disque fixé sur cet arbre. A l'intérieur de ce disque, se trouve un réservoir en communication avec les trous latéraux de l'arbre et un nombre déterminé de canaux recourbés s'ouvrant par une de leurs extrémités dans le réservoir et, par l'autre, à la circonférence du disque.

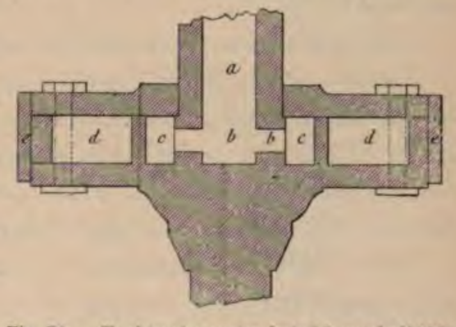


Fig. 76. — Turbine à vapeur *Lainé Laroche* (1844). Coupe verticale.

Autour du disque, se trouve un cercle métallique percé d'ouvertures en nombre égal à celui des ouvertures de ce disque et correspondant avec elles.

La vapeur est introduite dans le creux de l'arbre *a* (fig. 76) par l'une ou l'autre extrémité ou par toutes les deux ; elle le parcourt, passe, par les ouvertures latérales *b*, dans le réservoir *c* de la turbine et s'échappe, par les canaux recourbés *d*, dans une direction plus ou moins rapprochée de la tangente.

Les ouvertures du cercle enveloppant *e* ne sont pas en coïncidence complète avec celles du disque ; le bord antérieur des unes peut plus ou moins se rapprocher du bord extérieur des autres, de manière à permettre de restreindre à volonté l'espace par lequel s'échappe la vapeur.

Isoard et Mercier, 1845. — Ce moteur à vapeur, présenté à l'Académie des sciences, par Séguier, en 1845, est à réaction.

« Un axe creux, soutenu verticalement au centre d'un trépied, supporte un plateau horizontal ; un tube de fer, enroulé plusieurs fois sur lui-même, est disposé en forme de vis cylindrique sur le plateau ; ce tube adhère, par son extrémité inférieure, à l'axe ver-

tical dont il est comme la continuation ; son extrémité supérieure se termine par un orifice rétréci dirigé à la tangente.

« Un cône de tôle s'élève au centre du tube enroulé ; une trémie, fixée à un second plateau, sert comme de couvercle à l'appareil. L'axe vertical est muni d'une poulie ou d'un pignon pour transmettre la force par courroie ou par engrenage ; un réservoir supérieur, ou un organe d'injection, forme le complément de cette machine.

« Elle fonctionne de la manière suivante :

« Des fragments de coke enflammés sont jetés dans la trémie qui surmonte l'appareil ; en tombant sur le sommet du cône central, ils se distribuent circulairement autour de sa base ; l'espace ménagé entre le cône et le tube enroulé en est rempli ; le foyer garni, le feu s'allume, le tuyau s'échauffe, et bientôt la machine se trouve prête à commencer à tourner. Il suffira qu'un filet d'eau descendant d'un réservoir ou injecté avec une pompe, pénètre dans les circonvolutions du tube en passant au travers de l'axe creux et se transforme en vapeur, pour qu'en s'échappant par l'orifice tangent, la force de réaction du jet de vapeur communique une vitesse angulaire à tout l'appareil.

« La force centrifuge résultant du mouvement giratoire fait passer de l'air au travers de fentes ménagées dans la base du cône central ; le feu est activé, la chaleur du tube augmente, la vaporisation devient plus considérable, le mouvement redouble ; cette progression d'effet se continue, la vitesse devient énorme ; la résistance qui sert à la modérer sera l'expression du travail utile.

« Au lieu d'être dirigé du générateur dans l'appareil moteur et de subir chemin faisant ou au moment même où elle produit un effet utile les pertes dues à la diminution du volume par suite des causes nombreuses de refroidissement, la vapeur est maintenue à une très haute température dans le tube même où elle a été générée, et les relations de surface chauffée et d'eau injectée sont calculées de façon à ce que la vapeur ne s'échappe par l'orifice qu'après avoir acquis un surcroît de température qui lui permet d'agir à la fois comme vapeur et comme gaz dilaté. »

Landormy, 1845. — Cet appareil se compose d'un axe creux *cc* (fig. 77 et 78) ; de plusieurs tubes courbes *hh* et de deux plateaux *aa*, *aa*, entre lesquels ces tubes sont pris ; deux cercles BB maintiennent leur écartement et servent à les fixer sur les plateaux.

Toutes ces pièces sont renfermées dans un tambour DD, qui est posé sur l'arbre, mais de manière à ne pouvoir être entraîné par

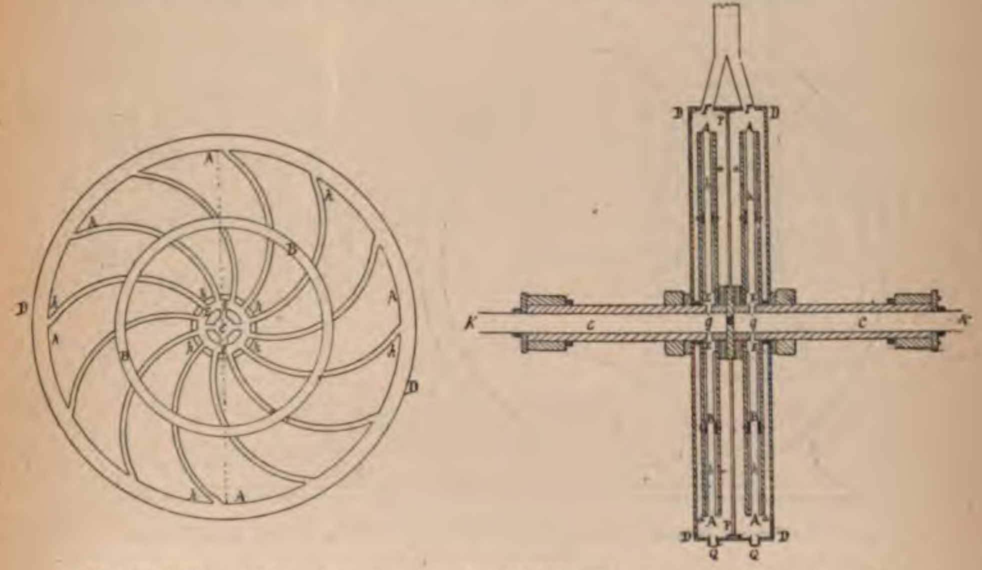


Fig. 77 et 78. — Moteur à réaction *Landormy* (1845). Élévation et coupe transversales.

son mouvement de rotation. Ce tambour est divisé en deux compartiments par une cloison verticale PP, fixée à sa circonférence. Cette cloison descend jusque sur le disque *ee*, sur lequel elle repose tout simplement. Chaque compartiment du tambour a une ouverture FF pour l'évacuation de la vapeur. Au delà de cette ouverture est un clapet qui ferme celui des deux compartiments qui n'a pas de vapeur à évacuer et qui empêche celle qui sort de l'un d'eux de se répandre dans l'autre.

Les vis Q ferment les ouvertures pratiquées pour vider l'eau de condensation qui pourrait se déposer dans le bas du tambour.

L'arbre *cc* est rompu au milieu de sa longueur. On rapproche les deux bouts de l'arbre, entre les collets desquels on interpose

le disque percé *ee*. En les boulonnant ensemble, on peut rapprocher les deux parties de l'arbre et les réunir solidement.

A droite et à gauche de cette séparation, et à une distance convenable, la partie solide de l'arbre est percée de trous rectangulaires *gg gg*, de section égale à celle du creux de l'arbre *cc*. Ces trous établissent une communication entre le creux de cet arbre et un espace annulaire EE, qui règne tout autour de cet arbre.

Cet espace annulaire est formé d'un côté par le disque *ee* et de

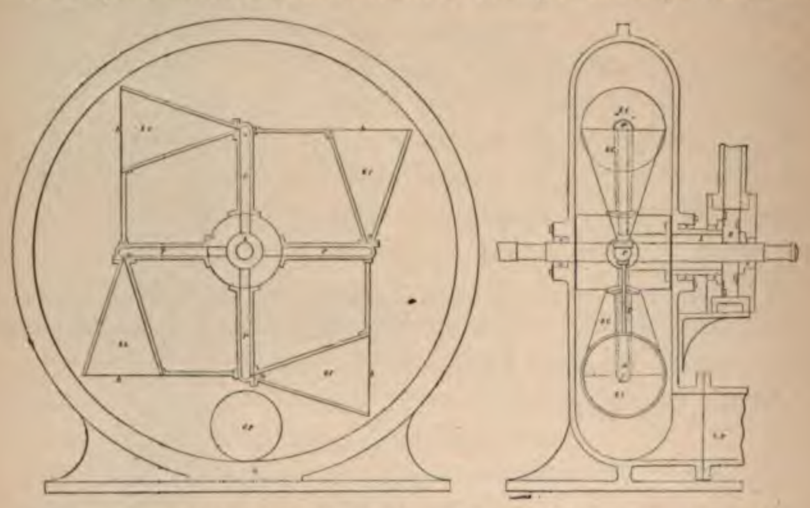


Fig. 79 et 80. — Moteur à réaction *B. von Rathen* (1847). Coupe longitudinale et transversale.

l'autre par la partie inférieure de l'un des plateaux et d'une bande de tôle qui ferme le dessus. Cette forte bande de tôle est percée d'autant d'ouvertures que l'appareil porte de tubes. Ceux-ci sont fixés sur cette bande de tôle de telle sorte que leur orifice inférieur corresponde à ces ouvertures et que la vapeur qui arrivera dans l'espace annulaire EE ne puisse en sortir qu'en passant par l'intérieur des tubes.

Les plateaux et les tubes étant calés sur l'arbre *cc*, il est évident que la réaction de la vapeur dans ces tubes fera tourner l'arbre.

La vapeur, après avoir traversé les tubes, se répandra dans le tambour DD, d'où elle sortira par le tuyau FF (fig. 78), pour se rendre soit dans un condenseur, soit à l'air libre.

Le tambour DD est traversé par l'arbre *cc* ; mais il ne participe

pas à son mouvement de rotation. Cet arbre tourne à frottement doux dans l'ouverture circulaire pratiquée dans le centre des côtés de ce tambour.

Le tambour DD renferme un double appareil moteur, à droite et à gauche de la séparation *ee* ; l'un destiné à produire le mouvement dans un sens, et l'autre dans le sens opposé.

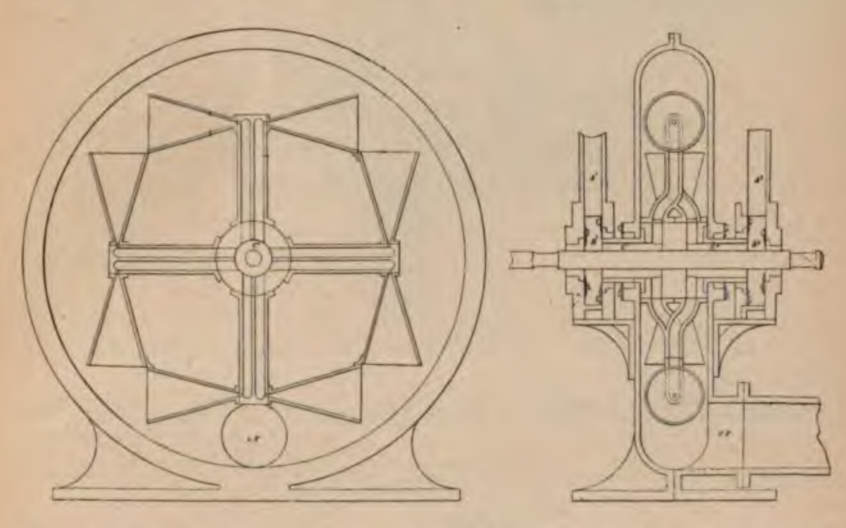


Fig. 81 et 82. — Moteur à réaction réversible *B. von Rathen*. Coupe longitudinale transversale.

Ce double appareil peut en outre servir de frein. En effet, si en même temps que l'un des appareils tourne dans un sens, on introduit de la vapeur dans l'autre, on en réduira la puissance.

B. von Rathen, 1847. — Les figures 79 et 80 représentent deux coupes de la roue à vapeur simple pouvant marcher dans une seule direction, et les figures 81 et 82 les mêmes coupes d'une roue réversible.

La vapeur, amenée par L, pénètre dans les bras P, d'où, par les ouvertures *a*, elle s'engage dans les ajutages évasés EC′, dans lesquels elle se détend.

L'ensemble est enfermé dans une boîte qui communique par CP avec le condenseur.

En **1848**, **Lesguern** présente à l'Académie des Sciences, son mémoire sur une *Nouvelle machine à réaction*.

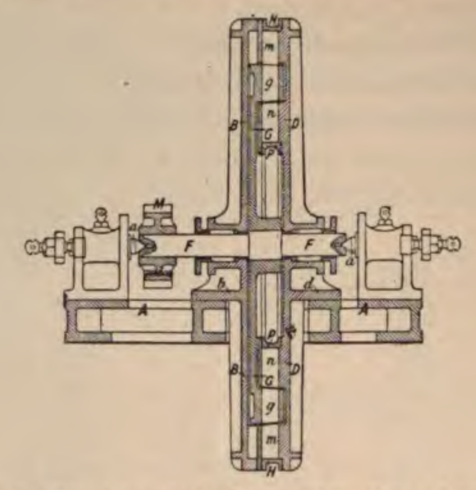


Fig. 83. — Turbine à vapeur *R. Wilson* (1848). Coupe longitudinale.

Robert Wilson, 1848. — Les figures 83 et 84 représentent une

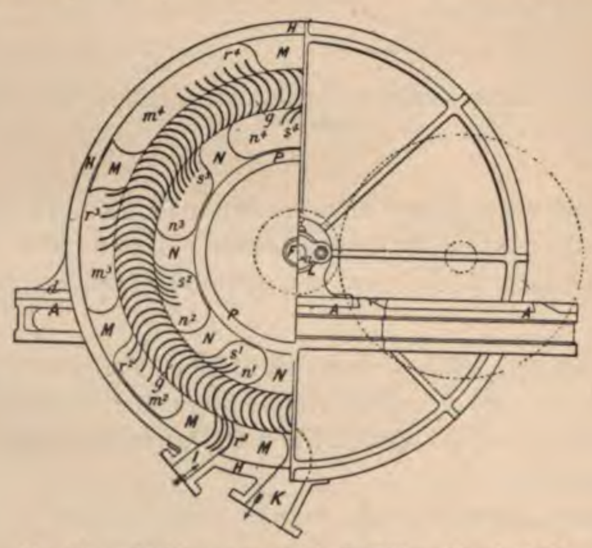


Fig. 84. — Turbine à vapeur de *R. Wilson*. Vue latérale.

turbine radiale avec un seul disque à aubes contenu concentriquement entre deux couronnes d'aubes distributrices fixes.

Le chemin parcouru par la vapeur est tracé sur la figure 85.

La figure 86 représente une turbine du même auteur à plusieurs

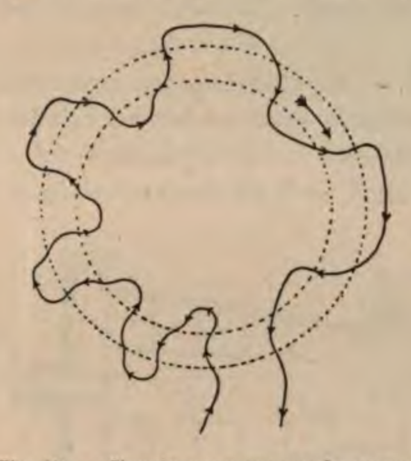


Fig. 85. — Chemin parcouru par la vapeur.

disques distributeurs et récepteurs. Les uns comme les autres sont mobiles et montés sur des arbres tournant dans deux directions opposées.



Fig. 86. — Turbine à vapeur *Wilson* radiale à plusieurs disques mobiles.

Enfin la figure 87 représente une turbine axiale à disques multiples.

Les dimensions croissantes des aubes tant réceptrices que distributrices indiquent la part réservée par l'auteur à la détente progressive de la vapeur.

Lepeyre, 1849. — En 1849 Lepeyre communique à l'Académie des sciences le résultat de ses recherches relativement à l'*application de la vapeur aux turbines*, résultats qui ont montré qu'on pouvait obtenir ainsi, avec un mouvement immédiat de rotation,

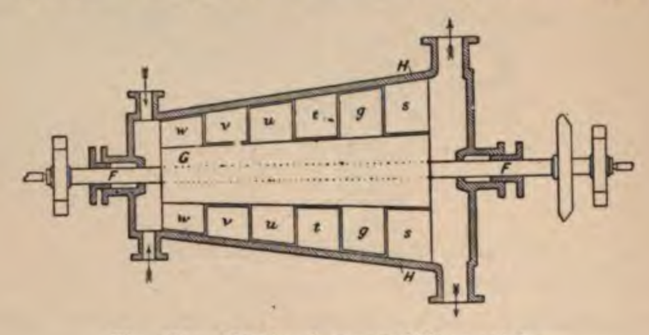


Fig. 87. — Turbine à vapeur *Wilson* axiale.

une augmentation notable de travail utile et une simplification notable dans le mécanisme.

Perroux, 1850. — Cette machine se compose (fig. 88) d'un tambour en fonte ou en cuivre A, ajusté et monté sur un axe en fer B, qui peut tourner librement entre des coussinets ou sur pivots, et qui porte un engrenage ou une poulie pour transmettre le mouvement du tambour.

Celui-ci est évidé dans cinq parties différentes et sur toute sa hauteur pour y recevoir la vapeur qui doit agir dans chacune de ces cavités comme sur les augets d'une roue ou d'une turbine hydraulique. A ses deux bases opposées, sont rapportés deux plateaux ou disques circulaires C, qui ferment les cavités et servent en même temps de supports aux papillons ou registres D.

Le système est renfermé dans une enveloppe en fonte E, qui reste fixe et peut servir de bâti à l'appareil. Sur les faces latérales de cette enveloppe, sont appliquées : d'une part, quatre boîtes de distribution F, et, de l'autre, quatre boîtes de sorties G. Les premières

contiennent chacune un diaphragme H, que l'on pousse d'un côté ou de l'autre suivant que l'on veut fermer l'un des deux orifices I ou I′, pratiqués sur le siège même de l'enveloppe, afin de laisser entrer la vapeur par l'un ou par l'autre.

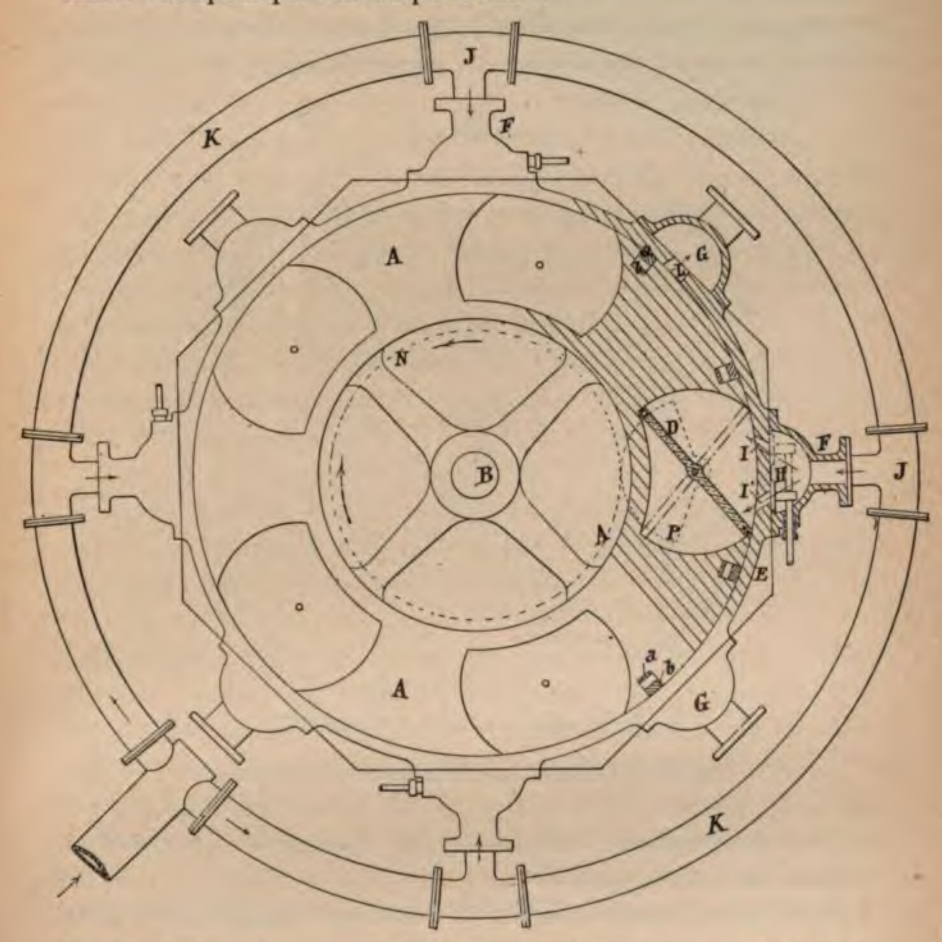


Fig. 88. — Roue à vapeur reversible *Perroux* (1850). Coupe transversale et détails des distributeurs et récepteurs.

Les boîtes F communiquent par des tubulures J avec un tuyau commun K, qui fait le tour de l'appareil et se rend à la chaudière, dont il amène la vapeur à la fois dans les quatre boîtes.

Lorsque les orifices I sont ouverts, comme on le voit sur le dessin, cette vapeur passe à l'intérieur des capacités vides du piston

ou tambour *A* et le force à tourner dans le sens indiqué par les flèches en traits pleins. Dans ce cas, on fait occuper aux papillons D la position reproduite sur la figure 82.

Lorsque, au contraire, on veut que le tambour tourne dans le sens opposé, on pousse le diaphragme H pour fermer les premiers orifices I et ouvrir les seconds I'; en même temps, on change la

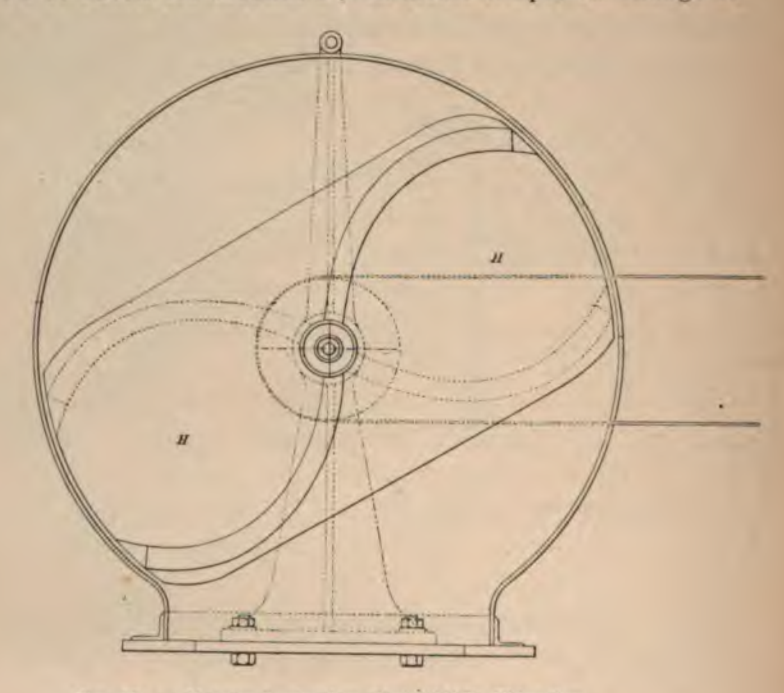


Fig. 89. — Moteur à réaction *Slate* (1852). Elévation.

position des papillons, auxquels on fait alors prendre la direction indiquée en lignes pointillées.

Dans l'un et l'autre cas, la vapeur trouve à se dégager après avoir agi un certain temps sur les parois intérieures des cavités du piston par les orifices de sortie L, qui sont constamment ouverts, et elle s'échappe soit à l'air libre, soit au condenseur, dans un tuyau unique M, qui réunit les tubulures dans les quatre boîtes G.

A. Slate, 1852. — Dans une boîte close H, deux bras courbés en sens inverse sont fixés sur l'arbre creux conduisant la vapeur (fig. 89).

Foucault, 1853. — L. Foucault, dans sa thèse sur les vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau, présentée en 1853, décrit une petite turbine à vapeur qui lui a servi à ses expériences.

Le disque est percé d'une rangée de 24 trous situés à égale distance du centre ; les cloisons qui les séparent sont planes, minces et inclinées de manière à recevoir le choc du fluide élastique.

La vapeur s'échappe dans la chambre placée au-dessous, par deux orifices pratiqués aux extrémités d'un même diamètre, dans l'épaisseur de la paroi, et percés obliquement en sens inverse de l'inclinaison des palettes du disque tournant. Le fluide qui s'écoule des orifices fixes est obligé de changer de direction et produit une réaction qui sollicite successivement toutes les aubes à circuler dans le même sens autour de leur centre commun.

En laissant écouler la vapeur sous une pression d'une demi-atmosphère seulement, on fait prendre au moteur une vitesse de 600 à 800 tours par minute.

Il eût été plus conforme à la théorie, dit Foucault, d'employer des aubes courbes, mais il y aurait eu plus de difficulté de construction, et comme il ne s'agissait pas de réaliser un effet utile, mais une certaine vitesse, on s'en est tenu là.

Tournaire, 1853. — Dans la séance du 28 mars 1853, Tournaire présente à l'Académie des sciences une note sur des appareils à turbines multiples et à réactions successives pouvant utiliser le travail moteur que développent les fluides élastiques.

« On a souvent essayé, dit-il, de faire agir la vapeur d'eau, ou tout autre corps gazeux, par sa réaction sur les aubes ou les canaux d'appareils rotatifs analogues aux turbines et aux tourniquets hydrauliques ; mais jusqu'ici ces inventions n'ont pas été consacrées par des résultats pratiques. L'application économique du principe de la réaction aux machines mues par les fluides élastiques serait pourtant d'un très haut intérêt, car les organes moteurs se trouveraient réduits aux plus petites proportions et, dans la plupart des cas, les communications de mouvement seraient allégées ou simplifiées. On réaliserait, en un mot, pour ces machines, tous les avantages que présentent les turbines comparées aux roues hydrauliques de grand diamètre.

« Les fluides élastiques acquièrent d'énormes vitesses sous l'influence de pressions même assez faibles. Pour utiliser convenablement ces vitesses sur de simples roues analogues aux turbines à eau, il faudrait admettre un mouvement de rotation extraordinairement rapide, et rendre extrêmement petite la somme des orifices, même pour une grande dépense de fluide. On éludera ces difficultés en faisant perdre à la vapeur ou au gaz sa pression, soit d'une manière continue et graduelle, soit par fractions successives, et en la faisant plusieurs fois réagir sur les aubes de turbines convenablement diposées.

« Nous devons rapporter l'origine des recherches auxquelles nous nous sommes livrés sur ce sujet à des communications que M. Burdin, ingénieur en chef des Mines et membre correspondant de l'Institut a eu l'obbligeance de nous faire et qui remontent à la fin de 1847. M. Burdin, qui s'occupait alors d'une machine à air chaud, voulait projeter successivement le fluide comprimé et échauffé sur une série de turbines fixées sur un même axe. Chacune d'elles, renfermée dans un espace hermétiquement clos devait recevoir l'air lancé par des orifices injecteurs, et le déverser avec une très faible vitesse. L'auteur songeait aussi à comprimer l'air froid au moyen d'une série de ventilateurs disposés d'une manière analogue. L'idée d'employer des turbines successives, afin d'user en plusieurs fois la tension du fluide, nous a paru simple et féconde ; nous y avons vu le moyen d'appliquer aux machines à vapeur ou à air le principe de la réaction.

« Dès que les différences de tension sont considérables, comme cela a lieu dans les machines à vapeur, on reconnaît qu'il est nécessaire d'avoir un grand nombre de turbines pour amortir suffisamment la vitesse du jet fluide. La légèreté et les dimensions très faibles des pièces mises en mouvement permettent d'ailleurs d'admettre des vitesses de rotation très grandes par rapport à celles des machines usuelles. Il faut que, malgré la multiplicité des organes, les appareils soient simples dans leur agencement, qu'ils soient susceptibles d'une grande précision, que les vérifications et les réparations en soient rendues faciles. Tournaire croit avoir rempli ces conditions essentielles au moyen des dispositions suivantes :

« Une machine se compose (fig. 90 à 92) de plusieurs axes

moteurs, indépendants les uns des autres, et agissant, par l'intermédiaire de pignons, sur une même roue chargée de transmettre le mouvement. Chacun des axes portera plusieurs turbines ou roues à aubes BB, CC, EE, disposées autour d'un axe mobile, OA.

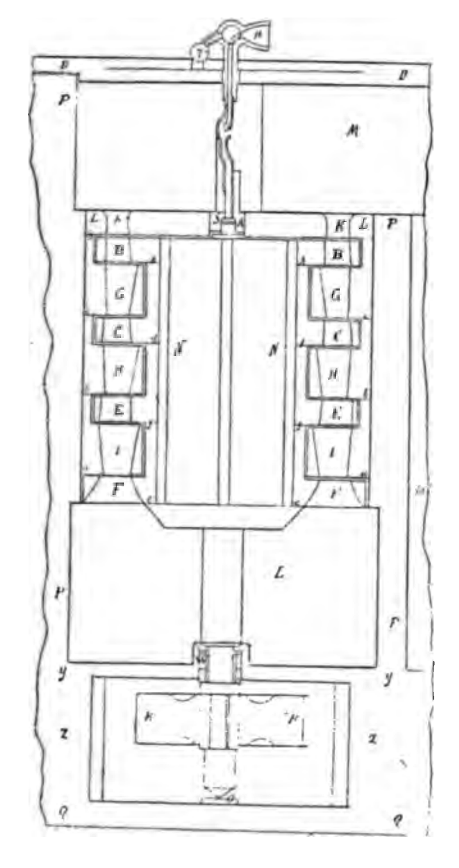


Fig. 90. — Turbine à vapeur compound *Tournaire* (1853). Élévation.

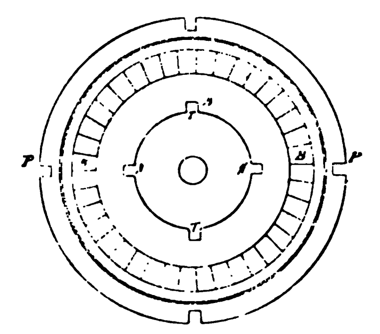


Fig. 91. — Turbine à vapeur *Tournaire*. Plan.

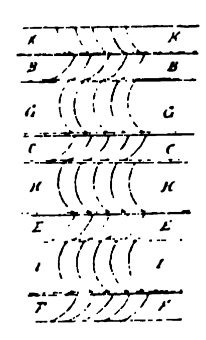


Fig. 92. — Turbine à vapeur *Tournaire*. Détails des aubes.

Celles-ci recevront et verseront le fluide à une même distance de l'axe. Entre deux turbines, est placée une couronne fixe d'aubes directrices GG, HH, II. Le jet fluide arrive à la première turbine par des orifices injecteurs *kk*. Ensuite les directrices recevront le jet sortant d'une roue à réaction, et lui imprimeront la direction et la vitesse la plus convenable pour que ce jet exerce son action sur la roue suivante. Chacun de ces systèmes d'organes mobiles et

d'organes fixes sera renfermé dans une boîte cylindrique. Les aubes directrices feront partie des bagues ou pièces annulaires qui se logeront dans le cylindre fixe, et qui devront s'adapter très exactement les unes au-dessus des autres. Les turbines auront ainsi la forme de bagues, et viendront s'enfiler sur un manchon dépendant de l'axe. Quelques nervures s'encastrant dans des rainures, rendront les directrices solidaires avec la boîte cylindrique, les turbines solidaires avec l'axe. Les directrices supérieures, qui feront simplement office de canaux injecteurs, pourront appartenir à une pièce pleine, dans laquelle se logera la fusée ou le tourillon de l'axe, et qui servira à fixer celui-ci.

« Après avoir agi sur les turbines dépendant du premier axe, et avoir ainsi perdu une plus ou moins grande partie de son ressort, le fluide exercera son action sur les turbines du second axe et ainsi de suite.

« Comme la vapeur se détendra au fur et à mesure qu'il parcourra les aubes des roues et des directrices, il faudra que ces aubes offrent des passages de plus en plus larges, et les derniers appareils auront des dimensions plus grandes que les premiers.

« La dernière turbine placée sur chaque axe devra, comme les roues à réaction mues par les liquides, verser le fluide avec une très faible vitesse. A la sortie des autres turbines, le fluide devra conserver la vitesse qui conviendra le mieux à son introduction dans les canaux directeurs.

« Le travail moteur exercé sur ces roues proviendra en plus grande partie, non de l'extinction de la vitesse réelle du jet fluide, mais de la différence des pressions à l'entrée et à la sortie des aubes. Cette différence de pression devra produire un grand excès de la vitesse relative de sortie sur la vitesse relative d'entrée ; et pour que cet effet soit obtenu, il suffira, en vertu de la continuité du mouvement, que les orifices de sortie des canaux présentent de moindres sections que les orifices d'entrée ; c'est là, du reste, ce qui a lieu pour la plupart des turbines à eau. Relativement à leurs vitesses de rotation, les canaux de nos turbines seront parcourus avec des vitesses plus grandes que les canaux des roues à réaction ordinaire ; et, par suite elles seront susceptibles d'utiliser une plus grande quantité du travail moteur.

« Comme dans toutes les machines, plusieurs causes tendront à diminuer l'effet utile de nos appareils, et à le rendre inférieur à l'effet théorique.

« Une partie du fluide, s'échappant par les intervalles de jeu qu'il est nécessaire de laisser entre les pièces mobiles et les pièces fixes, n'aura point d'action sur les turbines et ne sera point guidée par les directrices. Il se produira des chocs et des tourbillonnements à l'entrée et à la sortie des aubes. Les frottements, que l'étroitesse des canaux rendra considérables, pourront absorber une assez notable partie du travail théorique.

« Tous ces effets nuisibles se produisent dans les turbines hydrauliques, les uns avec une intensité qui semble devoir être à peu près égale, les autres tels que les frottements, à un degré moindre : ces roues à réaction sont pourtant d'excellentes machines. Pour que nos appareils à vapeur ou à air chaud pussent les égaler sous le rapport de l'effet moteur utilisé, il faudrait une construction très parfaite qu'il sera peut-être difficile d'atteindre complètement à cause de la petitesse des organes. Mais si nous considérons les résultats obtenus avec les machines à pignons mues par la vapeur, nous verrons que nous pourrons faire une très large part aux pertes de force vive, sans que nos turbines cessent de fonctionner dans des conditions d'économie relativement bonnes. Plusieurs causes de pertes inhérentes à l'emploi des cylindres et des pistons seront évitées. Ainsi le refroidissement provenant du rayonnement des parois extérieures et de leur contact avec le milieu ambiant sera négligeable, puisque nos boîtes cylindriques ne présenteront qu'une masse et un volume très faible, parcourus par un très grand flux de calorique.

« Pour que l'application de nos principes aux machines mues par les fluides élastiques soit suivie de succès, il faudra qu'une très grande précision et un très grand soin soient apportés à la construction et au montage des pièces, que les dimensions et les tracés des aubes et des canaux soient attentivement étudiés.

« Il importera que les dents des pignons, qui seront animées de très grandes vitesses, fonctionnent d'une manière très douce, sans chocs et sans secousses; les engrenages hélicoïdaux, dits de White, seront probablement d'un bon emploi. Il conviendra aussi de

maintenir les axes par des collets placés extérieurement, afin d'éviter que les garnitures métalliques ne soient soumises à de fortes pressions. Des pivots devront supporter les pressions parallèles aux axes ; celles-ci, d'ailleurs, seront assez faibles, à cause des petites dimensions des turbines.

« Quant aux régulateurs de la dépense du fluide, deux tiroirs ou deux valves, placés l'un dans le tuyau qui mettra le régulateur en communication avec la machine, l'autre dans celui qui rendra le fluide au milieu ambiant, en feront l'office.

« L'avantage principal des appareils moteurs que nous proposons, est la légèreté extrême et le peu de volume qu'ils présentent. C'est un point sur l'importance duquel nous croyons inutile d'insister longuement. Les machines actuelles, trop lourdes et trop encombrantes, n'ont pu s'adapter à beaucoup de travaux qu'accomplissent encore les forces physiques de l'homme. Sans aucun doute la réalisation de nos projets étendrait le domaine des forces mécaniques.

« Appliquées aux machines à vapeur, nous pensons que nos turbines multiples permettraient de réduire les dimensions des réservoirs aux magasins de fluide ; car la consommation et la production de l'agent moteur étant continues, l'ébullition se ferait très régulièrement dans la chaudière, et l'on aurait beaucoup moins à craindre l'entraînement d'une forte proportion d'eau.

« Si l'air chaud doit se substituer à la vapeur, comme peuvent le faire espérer les belles et fécondes expériences d'Ericsson, nos turbines remplaceront très heureusement les énormes cylindres et pistons dont s'est servi l'ingénieur suédois pour recevoir l'action de l'air comprimé. Resterait à examiner si des appareils rotatifs analogues ne pourraient pas être utilement employés à la compression de l'air froid. En cas de succès une révolution complète des machines se trouverait accomplie, non seulement sous le rapport de la quantité de combustible qu'elles consomment, mais aussi sous le rapport non moins important des masses et des volumes qui entrent dans leur construction. »

Delonchant, 1853. — « La vapeur, quelque faible que soit sa pression, est animée, à sa sortie du récipient où elle est enfermée, d'une vitesse considérable.

« Cette vitesse qui, pour donner le meilleur effet utile, exige que celle de la circonférence de la machine qu'elle doit animer ne descende pas au-dessous de sa moitié, a jusqu'à présent empêché l'emploi des machines à réaction.

« En effet, la vapeur d'eau à 5 atmosphères de pression s'échappe dans l'air avec une vitesse de 500 mètres par seconde. Une machine que cette vapeur mettrait en mouvement devrait avoir environ 300 mètres de vitesse par seconde. Or, si le diamètre de cette machine était de $0^m,95$, elle ferait 100 tours par seconde, ou 6.000 tours par minute, et l'axe quelque faible de diamètre qu'il soit, serait animé d'une vitesse telle qu'aucun enduit ne pourrait être conservé dans les coussinets, qui prendraient feu en peu de temps.

« Ainsi, un mode d'action de la vapeur que la théorie indique comme le plus avantageux de tous ceux employés jusqu'à présent a-t-il jusqu'ici complètement échoué dans les essais nombreux auxquels on s'est livré. »

Pour obtenir un résultat pratiquement possible, Delonchant propose de faire poser l'arbre de cette machine sur la circonférence de roues à grand diamètre, qu'il entraîne par frottement, de manière que leurs axes ne soient plus animés que d'une vitesse très réduite.

« Ainsi, par l'emploi de ces roues au lieu de coussinets, non seulement le frottement de glissement du premier axe sera remplacé par un frottement de roulement, mais encore la puissance sera transmise de ce premier axe aux organes suivants sans engrenage et d'une manière analogue, mais inverse, à l'action des roues d'une locomotive sur les rails. Ici, les moteurs tournent sur place, et le rail, qui est circulaire, fuit, entraînant avec lui la résistance qui, sur le chemin de fer, où le rail est fixe, est entraînée par la locomotive. »

La figure 93 représente un dispositif de ce genre.

A. — Roue à aubes fixée à l'extrémité d'un arbre horizontal.

B. — Collet de l'arbre portant la roue à aubes courbes ; un semblable collet existe à l'autre extrémité du même arbre.

CC. — Quatre roues sans dents, sur lesquelles porte l'axe B de la roue à aubes.

La circonférence de ces roues, pressée par l'axe de la roue à aubes, à laquelle on ajoute le poids nécessaire pour vaincre la résistance par simple friction, est entraînée sans glissement.

D. — Boîte à vapeur, solidement fixée au bâti de la machine, et ne pouvant ni tourner ni se mouvoir dans aucun sens.

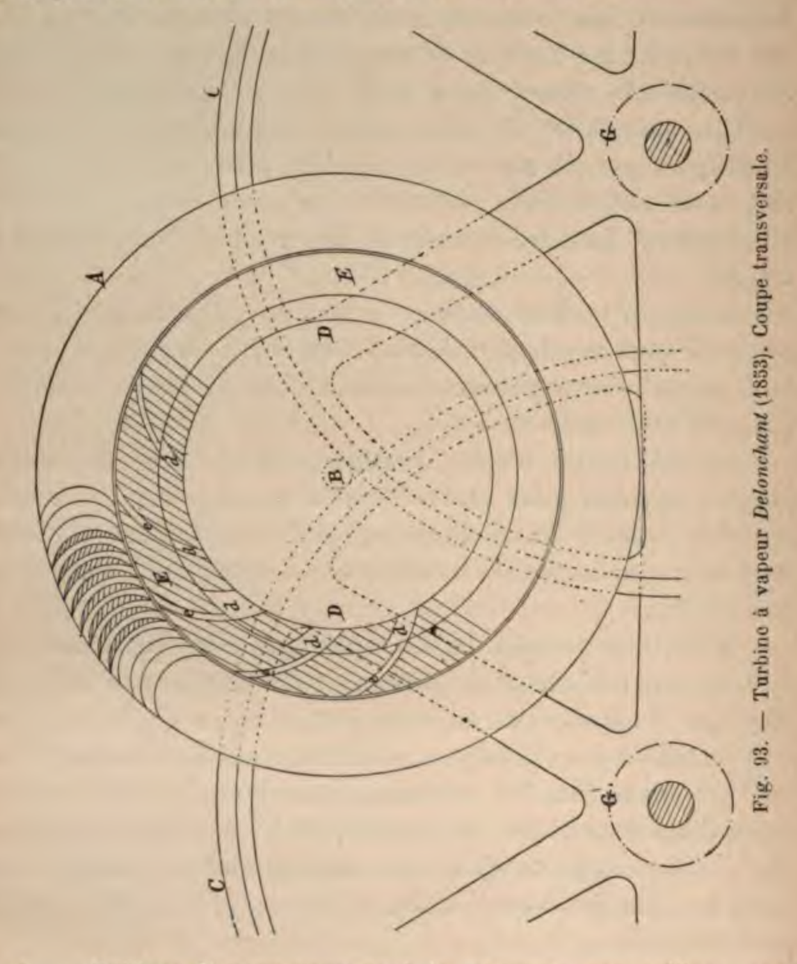


Fig. 93. — Turbine à vapeur *Delonchant* (1853). Coupe transversale.

d. — Orifices livrant passage à la vapeur ; ces orifices sont disposés de telle sorte qu'en faisant mouvoir l'anneau E d'un douzième de tour, deux orifices opposés sont masqués ; continuant le mouvement d'une quantité égale, deux nouveaux orifices opposés sont encore masqués ; et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'ils soient tous masqués, de manière à arrêter l'écoulement de la vapeur.

E. — Anneau mobile.

ee. — Orifices par lesquels le fluide est dirigé aussi tangentiellement que possible sur les aubes courbes de la roue A.

Tetley, 1854. — Cet appareil ne diffère des précédents qu'en ce sens que, la vapeur arrivant dans l'organe moteur de deux côtés

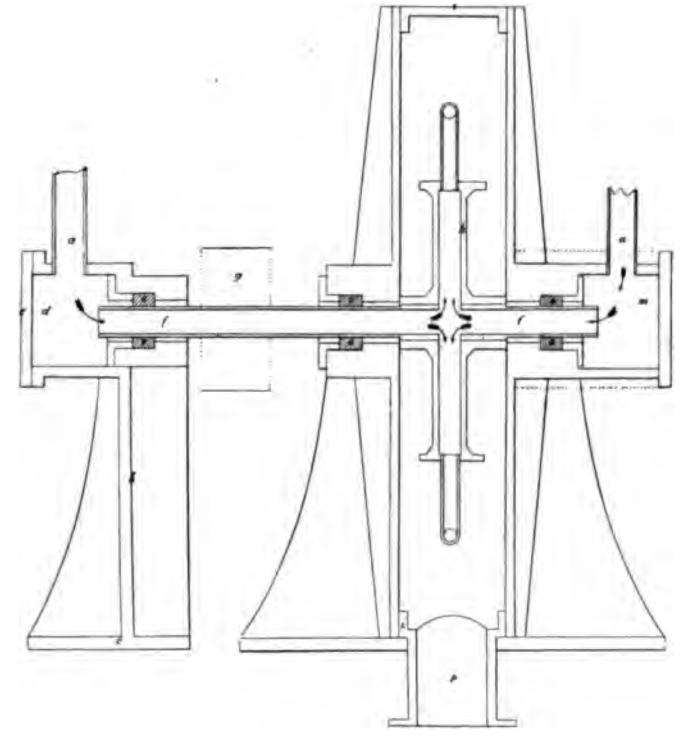


Fig. 94. — Moteur à réaction *Tetley* (1854). Coupe longitudinale de l'ensemble.

opposés *adf* et *amf*, les efforts latéraux se trouvent ainsi compensés (fig. 94).

Girard, 1855. — Dans cette machine, les aubes fixes ou directrices sont supprimées pour que le fluide n'éprouve pas de pertes de force vive à l'entrée des aubes du récepteur en mouvement (fig. 95 et 96).

Considérons le canal *abc a'b'c'*, formé par deux aubes consécu-

tives, et supposons le récepteur en mouvement ; supposons encore une molécule fluide, ou une succession de molécules formant un filet continu d'une section très petite, animée d'une vitesse absolue V′, dans une direction normale en sens du mouvement du récepteur. Pour entrer dans le canal au point *a*, arrivée en ce point, la molécule isolée, ou toutes celles du filet moléculaire, décrira d'un mouvement relatif la courbe *abc*, en y exerçant une

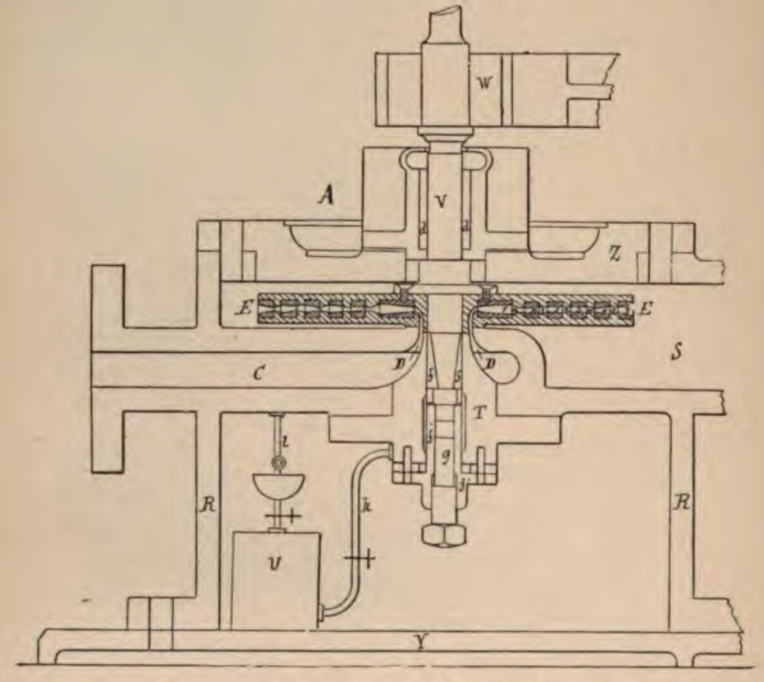


Fig. 95. — Turbine à vapeur *Girard* (1855). Coupe verticale.

pression développée par la force centrifuge due à la vitesse relative avec laquelle la molécule chemine sur l'aube. Pour connaître le travail de cette pression sur l'aube que nous avons supposée en mouvement, on n'aura donc qu'à multiplier le chemin parcouru par l'effort projeté sur ce chemin.

Le filet fluide, s'introduisant dans le récepteur avec un mouvement relatif, exercera sur la paroi *abc* du canal une pression due à la force centrifuge développée par la vitesse relative ; à mesure qu'il s'avance dans le canal, son épaisseur diminue jusqu'en *cc′*

(fig. 96) point où il quitte l'aube ; mais, dans ce passage, le mouvement du fluide ne devant pas être altéré, il est nécessaire que l'on agrandisse le canal perpendiculairement au mouvement du fluide depuis *aa'* jusqu'en *cc'*. On empêchera ainsi toute perturbation dans le mouvement du filet fluide et on utilisera la plus grande partie possible de sa force vive.

La vapeur arrivant par le tuyau C s'introduit par l'orifice DD

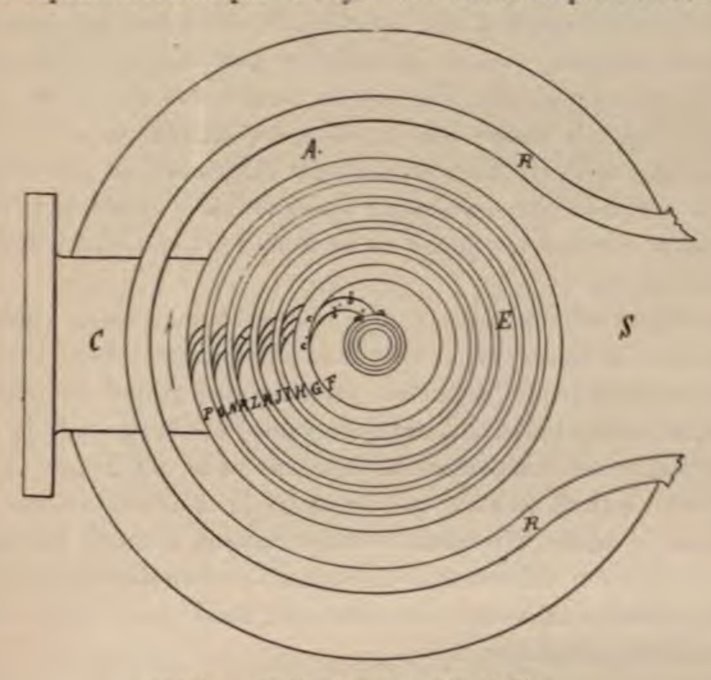


Fig. 96. — Turbine à vapeur *Girard*. Plan.

(fig. 95) sur la roue dont le moyeu porte, à cet effet, une ouverture circulaire se superposant parfaitement à l'orifice DD ; le fluide se dévie alors de 90° pour entrer tout autour sur les aubes de la première série F et perpendiculairement au mouvement de l'appareil. Il agit dans les canaux de la série F, la section verticale de ces canaux augmente toujours depuis l'origine des aubes jusqu'à leur extrémité. Pendant le passage du fluide, dans ces aubes, il y dépense une certaine quantité de travail qui produira une diminution de force vive et par suite une diminution correspondante de vitesse.

A la sortie des canaux F, le fluide, ralenti en vertu de l'action qu'il a dépensée sur les aubes, s'évacue dans un espace annulaire G, dépourvu d'aubes, dans lequel il ne peut par conséquent tourner avec l'appareil. Il règne aussi, dans l'espace G, une pression moindre que dans le tuyau C, mais plus grande cependant que celle qui a lieu dans les compartiments suivants; l'excès de cette pression sur celle du compartiment suivant déterminera une nouvelle vitesse dans le fluide, laquelle ira en augmentant progressivement du centre vers la circonférence par suite de la diminution de la hauteur du canal annulaire sans aubes; c'est avec cette vitesse que le fluide entrera dans les canaux ou aubes de la deuxième série H, dont la courbure est combinée avec l'évasement des parois latérales pour que le fluide y agisse de la même manière que sur les aubes de la série F, c'est-à-dire d'après le même principe.

Le fluide moteur quittera ainsi chaque compartiment à aubes et passera dans un suivant en traversant un espace annulaire dépourvu d'aubes, dans lequel règne une pression plus grande que dans les compartiments libres ou à aubes suivants; c'est l'excès de la pression dans un compartiment libre sur celle qui règne dans le suivant également libre qui engendre la nouvelle vitesse avec laquelle le fluide entre dans le compartiment à aubes qui sépare les deux, cette différence de pression d'un compartiment au suivant constitue la détente successive du fluide qui se trouve aussi naturellement utilisée.

Romanet, 1859. — La roue se compose (fig. 97 et 98) d'une sorte de boîte annulaire divisée en un certain nombre de petites chambres *h*, dans lesquelles sont pratiquées deux ouvertures *b* et *c*, l'une pour l'introduction de la vapeur, l'autre pour son échappement. L'introduction se fait par un tuyau partant de la chaudière et aboutissant à une plaque *gg*, qui le fait communiquer successivement avec toutes les ouvertures disposées à cet effet. Une plaque semblable existe du côté des ouvertures opposées; mais le tuyau qu'elle porte sert à rejeter la vapeur après qu'elle a produit son effet.

L'arbre, auquel la boîte annulaire se trouve reliée par plusieurs

rayons, est monté sur un châssis. On boulonne solidement à ce support les brides qui maintiennent les deux plaques contre les faces de la boîte percée de trous.

La vapeur du tuyau d'introduction, en pénétrant dans l'une des petites chambres, la pousse en avant, rencontre l'ouverture d'une autre chambre qu'elle pousse à son tour, et ainsi de suite, la roue

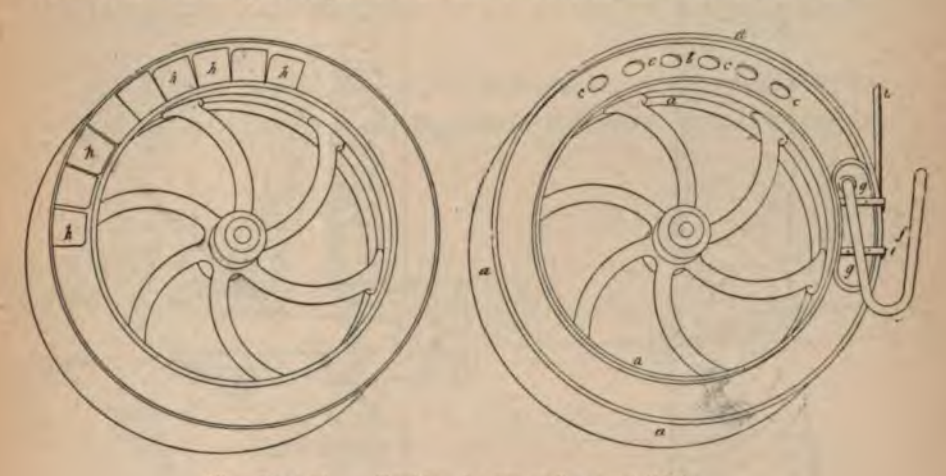


Fig. 97 et 98. — Turbine à vapeur *Romanet* (1859).

formant comme un cylindre continu, glissant entre les deux plaques immobiles.

Autier, 1859. — La vapeur arrivant du générateur par l'ouverture A (fig. 99 et 100) se répand dans l'espace circulaire B, passe dans les aubes O, s'en échappe en réagissant sur ces aubes, traverse ensuite la couronne 1, qui fait ici fonction de directrice, et vient agir d'abord par impulsion à l'intérieur de la couronne 2 par réaction à l'extérieur, traverse la couronne 3, et agit sur les couronnes 4, 6, 8, 10 comme sur la couronne 2. Les couronnes 3, 5, 7, 9, 11, etc., sont directrices.

Chaque couronne ne pouvant utiliser qu'une faible partie de l'énergie de la vapeur, il faut, pour utiliser complètement cette énergie, un nombre plus ou moins grand de couronnes, selon la pression dont on dispose et la vitesse que l'on veut obtenir. Dans les cas les plus ordinaires, si on avait dû placer toutes

ces couronnes sur les deux seuls plateaux P et P′, non seulement elles auraient pris trop d'espace, mais il y aurait eu une difficulté très grande à maintenir la pression de la vapeur tendant fortement, sur une si grande surface, à écarter les plateaux.

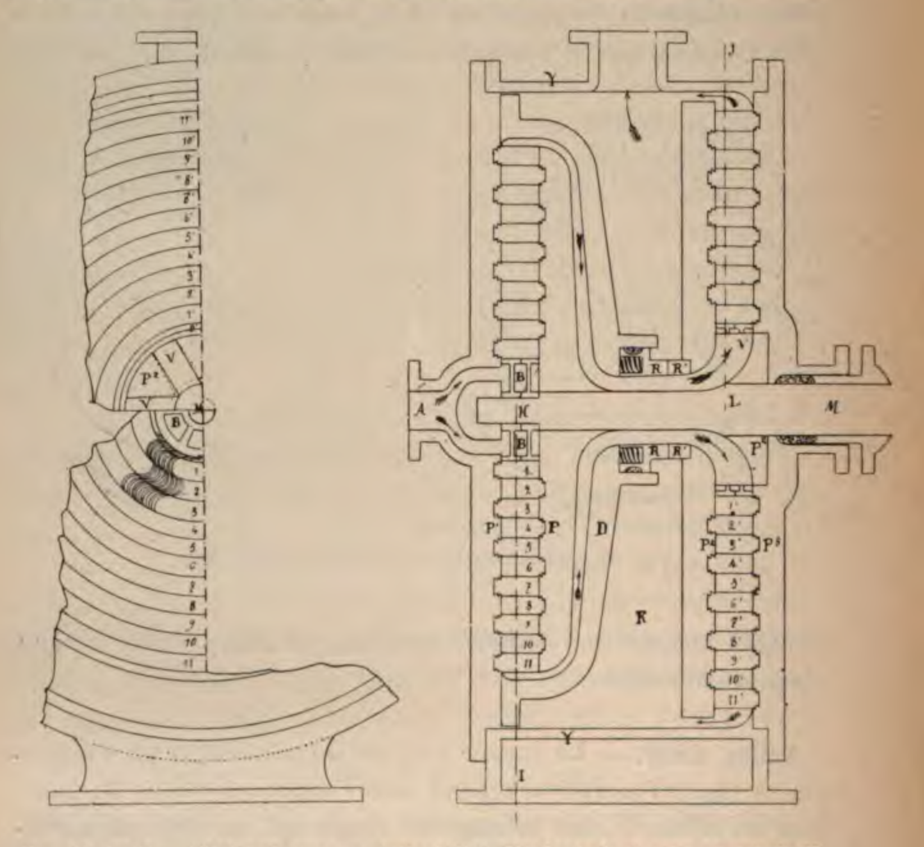


Fig. 99 et 100. — Turbine à vapeur *Autier* (1859). Vue latérale et coupe verticale JL.

On évite ces inconvénients en divisant l'appareil en deux séries. Les plateaux P^2 et P^3 portent les couronnes de la seconde série. La pression que supporte le plateau P est équilibrée par celle du plateau P^2 et la pression du plateau P′ l'est par celle du plateau P^3.

En quittant la première série de couronnes, la vapeur est amenée par D à la couronne O de la seconde série, en contournant le plateau P comme l'indiquent les flèches, et agit de la même manière

que dans la première série. Les aubes des couronnes 0′, 2′, 4′, 6′ etc., concourent à faire tourner l'arbre dans le même sens que les aubes 0, 2, 4, 6, etc.; après quoi, elle s'échappe dans l'air ou dans un condenseur.

Si l'on veut changer la marche, les couronnes des chiffres pairs deviennent mobiles et celles des chiffres impairs directrices.

Roch, 1862. — La figure 101 représente en coupe une boîte circulaire en fonte *d*, à des diamètres différents, couverte par le

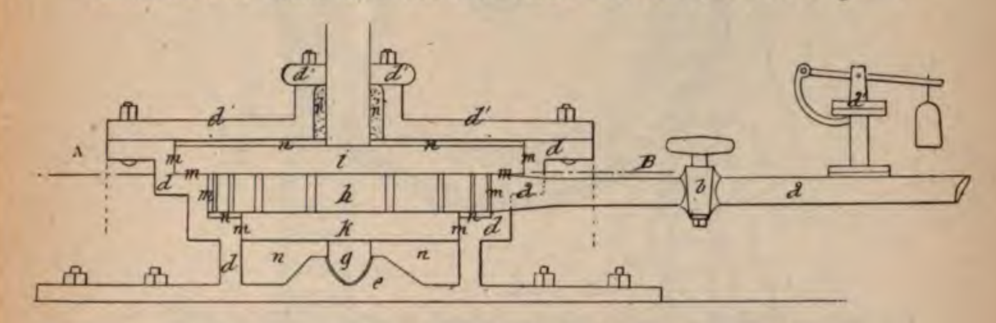


Fig. 101. — Roue à vapeur *Roch* (1862). Coupe verticale.

couvercle *d′*, et au fond de laquelle se trouve une crapaudine *e*, qui sert d'appui à l'arbre vertical *g*. La roue *h* est armée d'une plaque circulaire supérieure *i* et d'une plaque inférieure *k*, qui tournent avec elle. Ces plaques, ainsi que la roue, touchent aux parois de la boîte, en *m*, assez pour qu'il ne puisse se perdre de vapeur et pour que, cependant, elles puissent tourner; *a* représente la conduite d'arrivée de vapeur.

Hœhl, Brakell et Günther, 1863. — La figure 102 représente une turbine horizontale. Les aubes distributrices *a* sont situées extérieurement aux aubes réceptrices *b*; après avoir traversé ces dernières, la vapeur se dirige, dans un flux centrifuge, sur une autre turbine adjacente.

La figure 103 représente la section transversale d'un autre type de turbine. La vapeur est dirigée tout d'abord, par les aubes distributrices *f*, sur les aubes réceptrices *g*; de là, elle entre dans le

compartiment annulaire h, d'où, par les distributeurs i, elle est

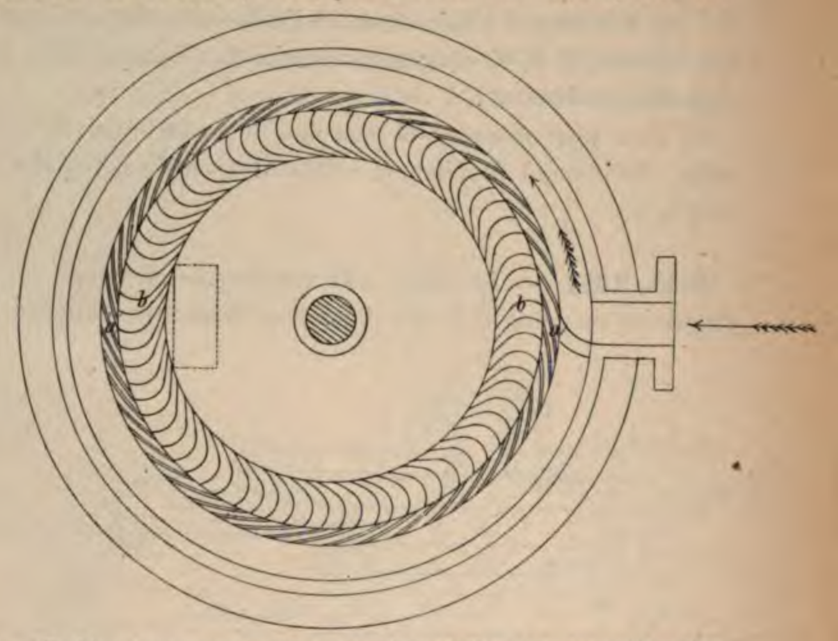


Fig. 102. — Turbine à vapeur centrifuge *Hoehl, Brakell et Günther* (1863). Plan.

dirigée, dans un flux centripète, sur les aubes m et s'en va ensuite à l'air ou au condenseur.

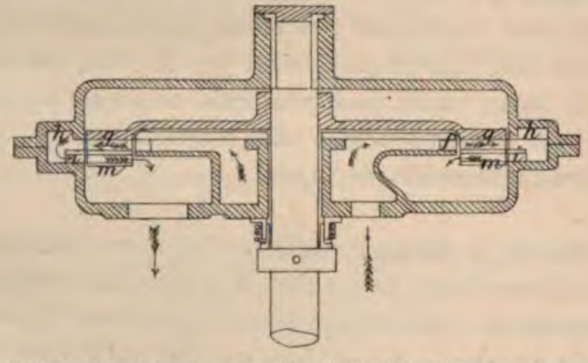


Fig. 103. — Turbine centripète à vapeur *Hoehl, Brakel et Günther*. Coupe diamétrale.

Perrigault et Farcot, 1864. — Sur les figures 104 et 105, T représente un faisceau des « jets » de vapeur et U un faisceau des « rejets ».

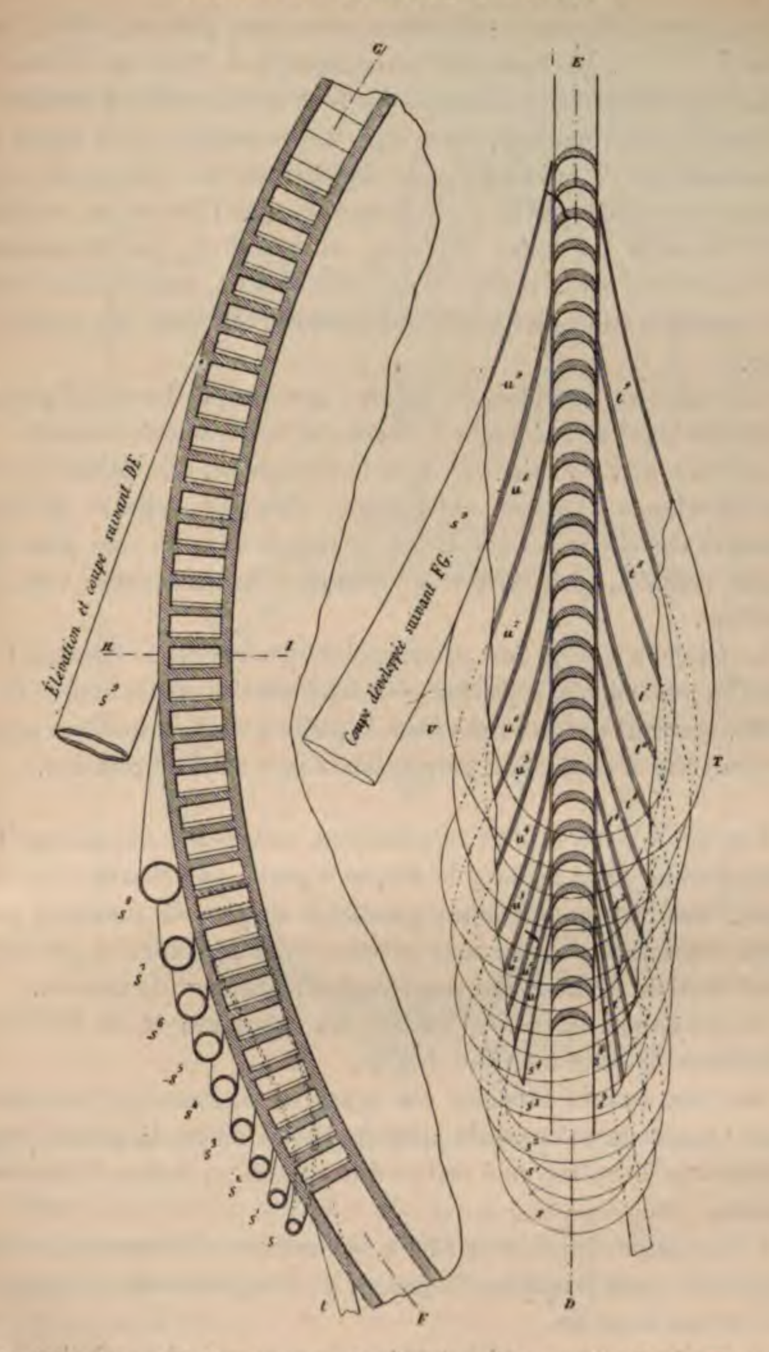


Fig. 104 et 105. — Turbine à vapeur *Perrigault et Farcot* (1864). Coupe ED et GF.

Ces deux faisceaux sont reliés entre eux par les tubes ou canaux s, s', s^2, qui ramènent constamment le fluide sur la roue.

La vapeur injectée par le premier jet t est recueillie, à sa sortie de chaque aube, par le premier rejet u, et conduite, par le tuyau s, au second jet t', qui l'injecte de nouveau sur les aubes; elle est ensuite recueillie par le second rejet u', qui l'amène au second jet t^2, et ainsi de suite; elle sort, en définitive, par le dernier conduit s^9, qui est le tuyau d'échappement final, pouvant être mis en communication soit avec l'atmosphère, soit avec un condenseur.

Les aubes ne se vident de vapeur, que lorsqu'elles ont dépassé le dernier rejet u^9 et lorsque le fluide est entièrement détendu.

La roue peut fonctionner dans l'atmosphère, être placée dans une enveloppe à parois notablement éloignée d'elle et de ses aubes et servant soit à constituer le moteur dans un vide plus ou moins complet, soit encore à réchauffer ou surchauffer tout le système.

Le faisceau T, que l'on peut appeler injecteur, et le faisceau U, que l'on peut appeler réjecteur, sont représentés, sur les figures 104 à 107, agissant sur une roue dans laquelle les aubes ont leur plan de courbure et d'injection perpendiculaire à celui de rotation.

Les figures 108 et 109 représentent une autre disposition de roue double, dans laquelle le disque o porte, sur chacune de ses faces, une couronne d'aubes parallèles au plan de rotation; ces deux couronnes sont en sens inverse l'une de l'autre et permettront ainsi de réaliser une machine à changement de marche.

On reconnaît facilement en TT′ les injecteurs et en UU′ les réjecteurs de cette machine double.

On peut encore modifier ces types en concentrant les aubes dans l'épaisseur même de la jante de la roue et en dirigeant leurs extrémités du même côté soit en dehors, soit en dedans de la couronne.

L'inspection des figures 110 à 113 montre clairement ces dispositions, dans lesquelles l'injecteur et le réjecteur se confondent en un seul faisceau.

On voit, en figures 110 et 111, une roue pour laquelle les jets

et les rejets ont lieu sur la circonférence intérieure de la couronne.

Dans les figures 112 et 113, au contraire, le faisceau de l'injec-

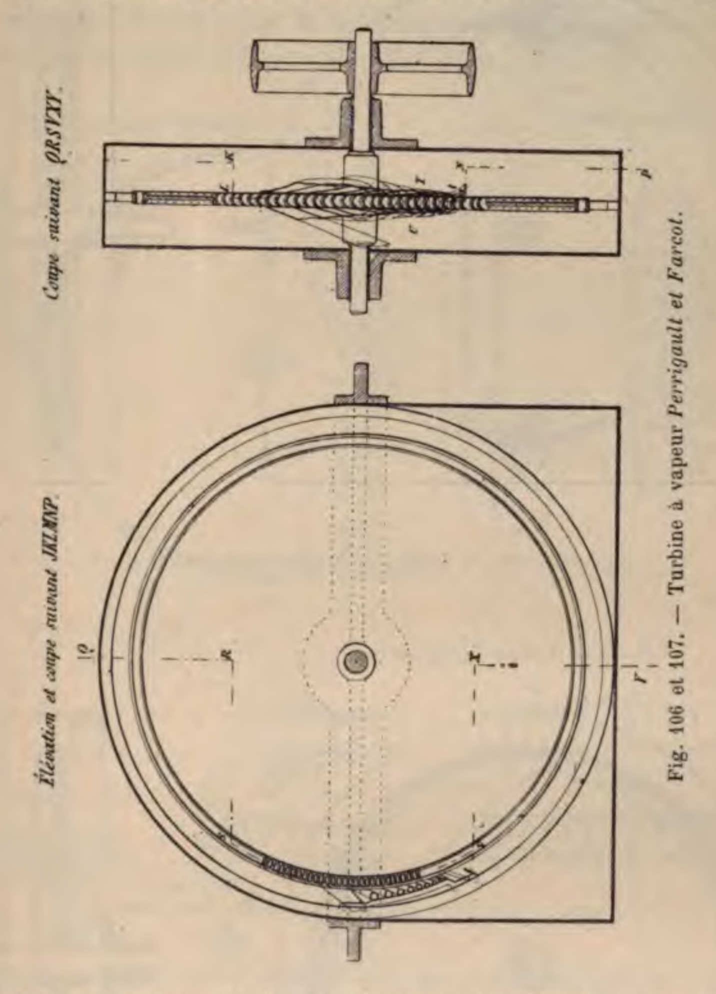


Fig. 106 et 107. — Turbine à vapeur *Perrigault et Farcot.*

teur et du rejecteur réunis est placé sur la circonférence extérieure.

Dans ces deux types, *t* sont encore les jets successifs, *u* les rejets. Les aubes sont inclinées en hélice par rapport à la couronne afin que, même au départ, la vapeur d'une aube puisse trouver un rejet en face d'elle.

Les jets et les rejets croissent de largeur en même temps que

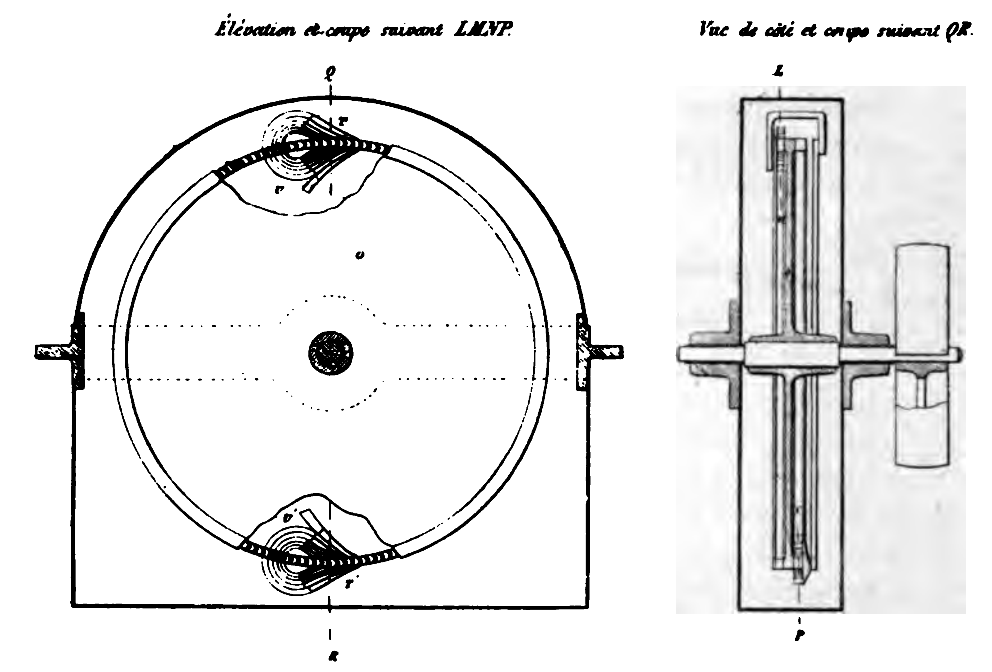


Fig. 108 et 109. — Turbine à vapeur *Perrigault et Farcot.*

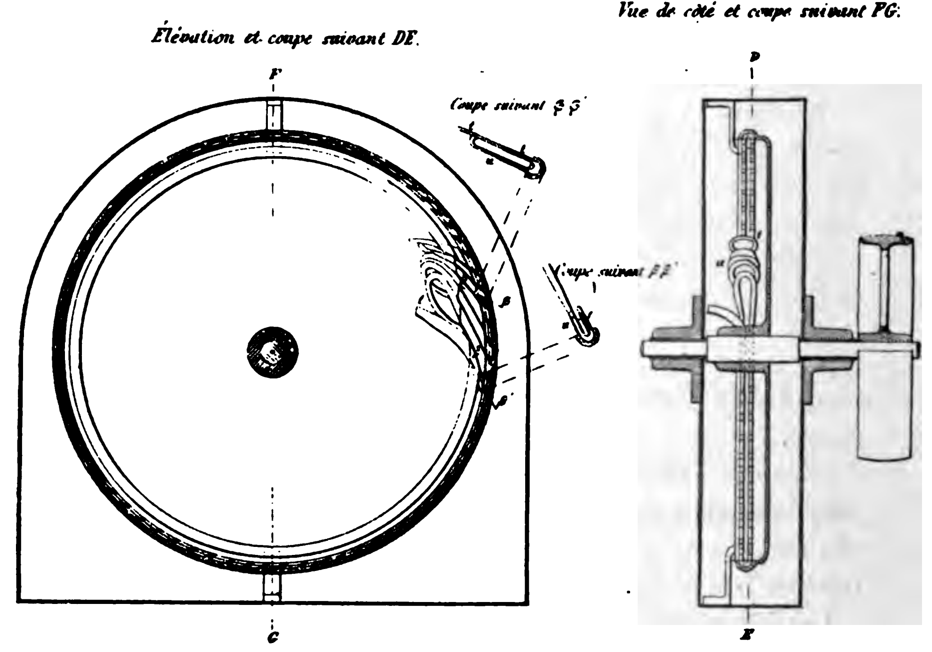


Fig. 110 et 111. — Turbine à vapeur *Perrigault et Farcot.*

d'épaisseur, afin de réaliser la même augmentation progressive de la section que dans les appareils précédents, pour lesquels on a fait varier seulement l'épaisseur des jets et des rejets; il faut, pour ceux-ci, faire croître aussi la largeur, l'épaisseur maxima étant limitée par la forme et la position des aubes.

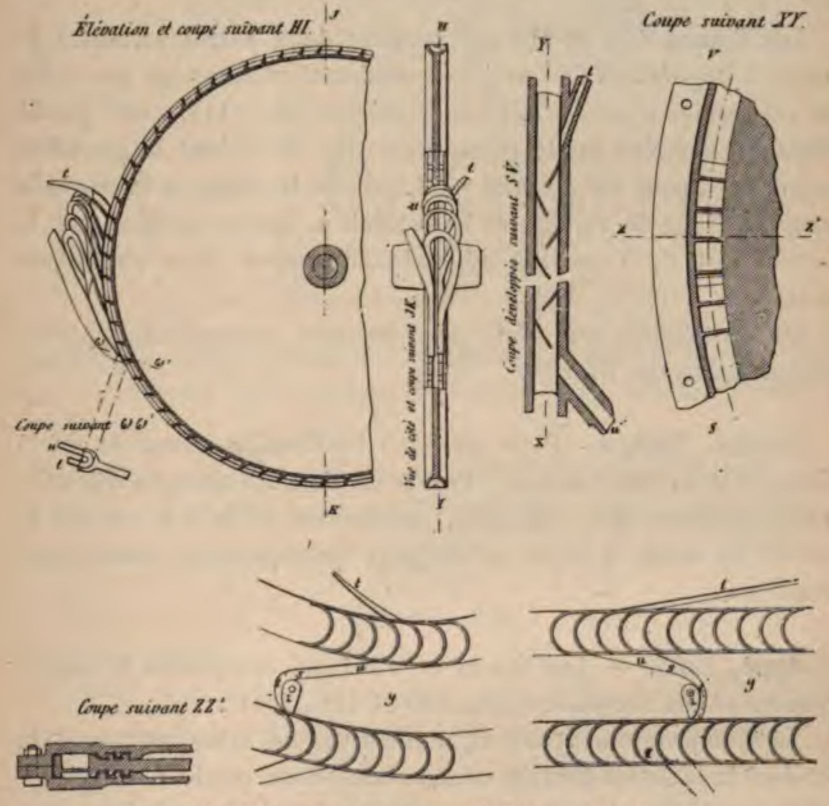


Fig. 112 à 118. — Turbines à vapeur *Perrigault et Farcot.*

Les figures 114 et 115 représentent une autre variante des roues à impulsions successives, dans laquelle les jets et les rejets se constituent spontanément par l'effet des parois de l'enveloppe et des aubes.

La vapeur est injectée en *t* et, se déviant de sa direction en glissant sur chacune des palettes, les pousse devant elle, en étant rejetée sur chacune par l'action des parois de l'enveloppe.

Le fluide dépasse les aubes dans sa course, s'écoulant par les

intervalles restés libres avec une vitesse plus grande que celle de la rotation, perdant successivement sa puissance vive en la transmettant à la roue et en se détendant progressivement.

Après un tour, la vapeur s'écoule par l'orifice de sortie *u*, qui la conduit dans l'atmosphère ou dans un condenseur.

Les figures 117 et 118 représentent deux autres variantes de roues à impulsions successives, consistant chacune en une suite de couronnes d'aubes, soit concentriques (fig. 117), soit parallèles, et montées sur le même axe (fig. 118), dont la première reçoit la vapeur du premier jet *t*, puis la transmet à la seconde couronne par le rejet *u* et le conduit *s*, qui se termine par le second jet *t'*, à section réglable au moyen d'un obturateur mobile *z*.

On peut établir une série de couronnes successives, séparées par des anneaux fixes *y*.

Prache, 1864. — Pour arriver à l'utilisation complète de la force vive du fluide moteur, Prache emploie les ajutages d'écoulement coniques MV (fig. 119), qui doivent réduire la vitesse de sortie du fluide à celle qu'on peut pratiquement donner aux turbines.

Appé, 1865. — Les divers organes qui composent la roue à vapeur et ses accessoires (fig. 120 et 121), sont :

La roue proprement dite R, montée sur un arbre horizontal A, et dont la jante est bombée comme celle d'une poulie ;

Quatre boîtes glissières B, pratiquées dans la jante de la roue et destinées à recevoir les quatre palettes radiales T ;

Deux tiges T, reliant les palettes deux à deux et passant sans frottement à travers le moyeu et l'arbre A ;

Quatre galets G, montés sur les tiges T et se mouvant sur la came E ;

Une came excentrique E, fixe autour de l'arbre A, sans contact avec lui.

La vapeur étant introduite par l'une des extrémités du cylindre circulaire D C, dont le fond est constitué par la jante même de la

roue R, agit sur les palettes de la même façon que l'eau sur les aubes d'une roue hydraulique, imprime à la roue le mouvement

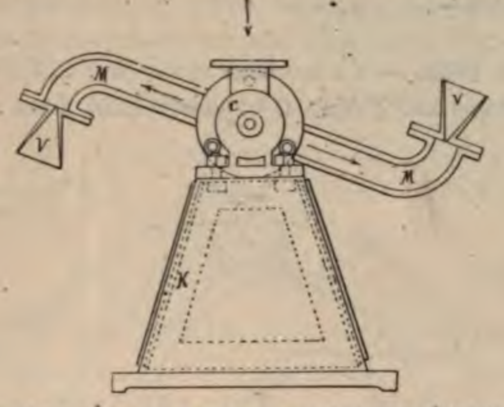


Fig. 119. — Moteur à réaction *Prache* (1864). Élévation.

continu de rotation autour de son axe, et sort par l'extrémité opposée du cylindre, qui remplace le coursier de la roue hydraulique ;

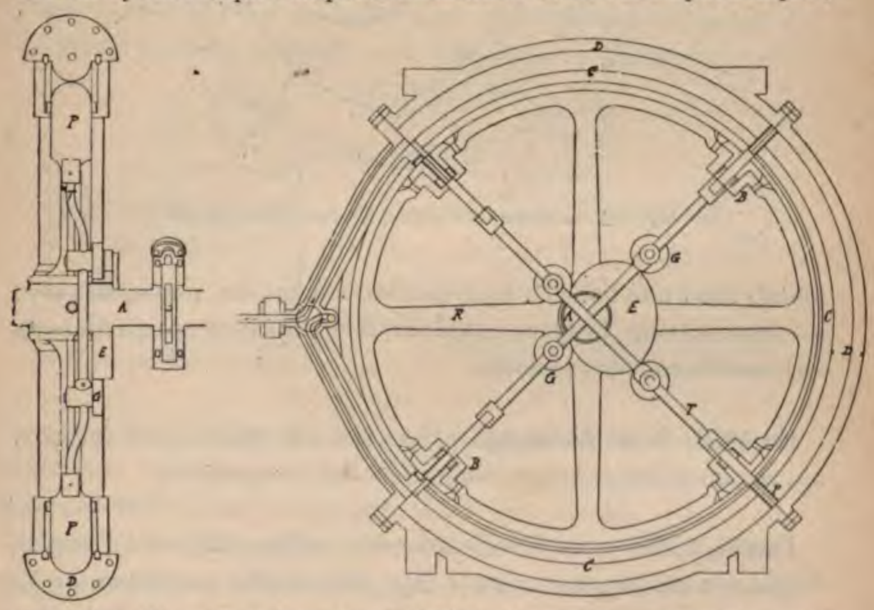


Fig. 120 et 121. — Roue à vapeur *Appé* (1865). Coupe transversale. Vue latérale.

mais comme ce cylindre forme avec la jante de la roue une capacité hermétiquement close, les palettes ne peuvent venir y rece-

origine, des soupapes ou clapets *aa*, s'ouvrant de dehors en dedans et communiquant avec le milieu ambiant, les choses se passeront d'une manière différente.

En effet, le jet instantané et très court, procédant comme une petite explosion, réagira sur l'air ou sur le fluide renfermé dans le tube, et qui, par son inertie, lui oppose un obstacle.

Cet effet d'inertie sera naturellement d'autant plus grand que le tube sera plus long et que la densité du fluide ambiant introduit après le jet par les clapets *aa* sera plus grande. La vapeur ou le gaz moteur introduit par le jet se détendra en propulsant l'air ou le fluide à projeter et réagira en même temps comme moteur contre le fond du tube avec une pression décroissante ; les clapets *a* restent fermés tant que la pression intérieure y sera plus grande que la pression extérieure.

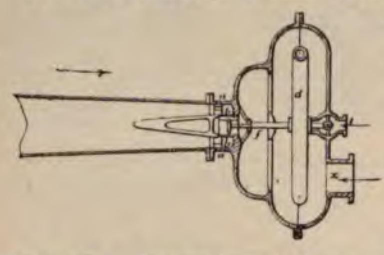


Fig. 128. — Moteur *Farcot*. Coupe longitudinale de l'appareil distributeur.

Ces soupapes *a* s'ouvriront dès que la résultante des pressions exercées sur eux sera dans le sens de l'entrée du fluide ambiant, qui, se précipitant dans le tube, le remplira directement, sans qu'il puisse s'y établir un vide relatif sensiblement nuisible à la réaction.

Le tube étant rempli de nouveau, un second jet viendra s'y produire et agira comme le premier.

On réalise ainsi une série de réactions de même ordre intermittentes et instantanées, à pleine pression et à détente, qui propulseront le tube en sens inverse de l'écoulement des gaz.

Les figures 128 et 131 représentent diverses dispositions et variantes d'un tube de propulsion droite.

Les figures 128 et 129 montrent la disposition de l'appareil distributeur produisant la suite des jets intermittents et instantanés. Ces jets s'échappent par un orifice annulaire que ferme une lame élastique *b*, ouverte instantanément et par intermittence, au moyen des cames *c*, dont l'arbre *f* est mis en mouvement au moyen d'une petite roue à réaction sans détente *d*, qui dépense très peu de travail, mêlant sa vapeur d'échappement à celle qui alimente les jets et l'utilisant ainsi sans perte de puissance.

a est le clapet introducteur du fluide ambiant.

La figure 130 représente une variante du premier dispositif.

La figure 131 représente un tube droit, avec orifices multiples étagés pour les clapets d'air et les jets de vapeur.

t est la tubulure qui alimente la roue *d*.

La distribution peut être manœuvrée soit par la roue spéciale *d*, soit par tout autre organe commandant les cames *c*.

Il est évident que le fluide sortant par l'orifice final des tubes aura subi des remous et des pertes de charge ; il ne conservera relativement qu'une faible vitesse, et ne serait guère propre à alimenter un moteur à réaction ; mais il ne faut pas perdre de vue,

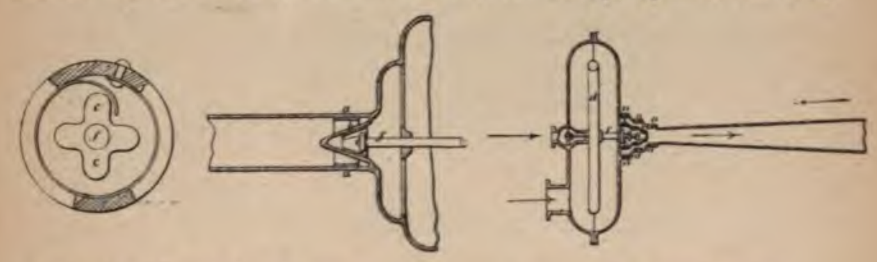


Fig. 129, 130 et 131. — Moteur *Farcot*. Coupe transversale et longitudinale.

dit l'inventeur, que le but de l'appareil à réaliser est surtout d'utiliser, dans le sens opposé à l'écoulement, la réaction initiale sur le fond du tube, et que l'emploi de l'air ambiant n'a pour but que de fournir un point d'appui dont l'efficacité serait parfaite si l'on pouvait faire sortir de la section finale du tube la masse fluide totale avec une vitesse à peu près égale à celle même de la translation du tube.

Hannsen, 1870. — Cet appareil consiste en une série de roues à aubes distributrices et réceptrices placées horizontalement sur un arbre vertical (fig. 132 et 133).

La vapeur arrive par en bas et, après avoir produit son effet successivement sur toutes les roues, s'échappe comme l'indique la flèche.

Thomas Baldwin. — En 1873 Baldwin mentionne une turbine à vapeur de son invention fonctionnant soit par réaction du jet de

vapeur s'échappant des orifices pratiqués à la périphérie du disque mobile, soit par impulsion communiquée au disque par des jets de vapeur lancés sur ce disque.

Il parle aussi des turbines multiples.

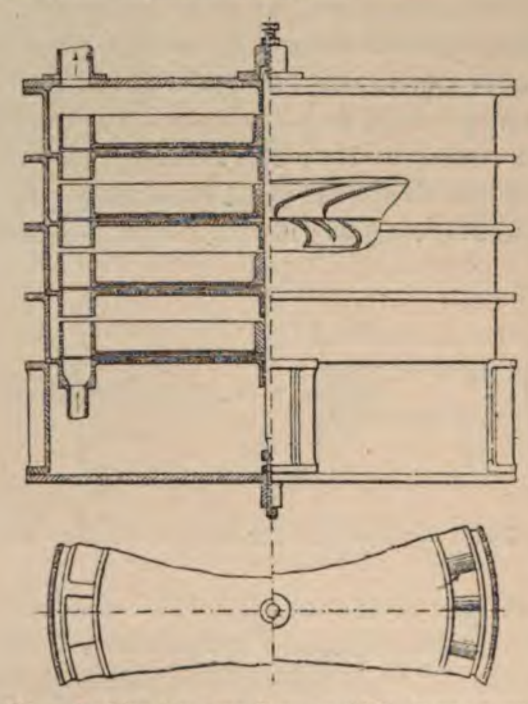


Fig. 132 et 133. — Turbine à vapeur *Hannsen* (1870). Coupe verticale et plan.

Alexandre Teulon, 1874. — L'inventeur propose d'utiliser la poussée latérale des turbines à vapeur pour équilibrer la poussée des hélices de propulsion.

Edwards, 1876. — L'arbre *f* porte une série de turbines *i*, comprises dans les compartiments séparés, de volumes croissants du côté de l'échappement (fig. 134 et 135).

L'ensemble est maintenu par des plaques *d d'*, et serré par des boulons *e*.

La vapeur entre par la conduite *h*, pénètre dans le premier compartiment, d'où, par les aubes distributrices *n*, elle est dirigée sur les aubes réceptrices *i* ; après avoir produit son effet, elle

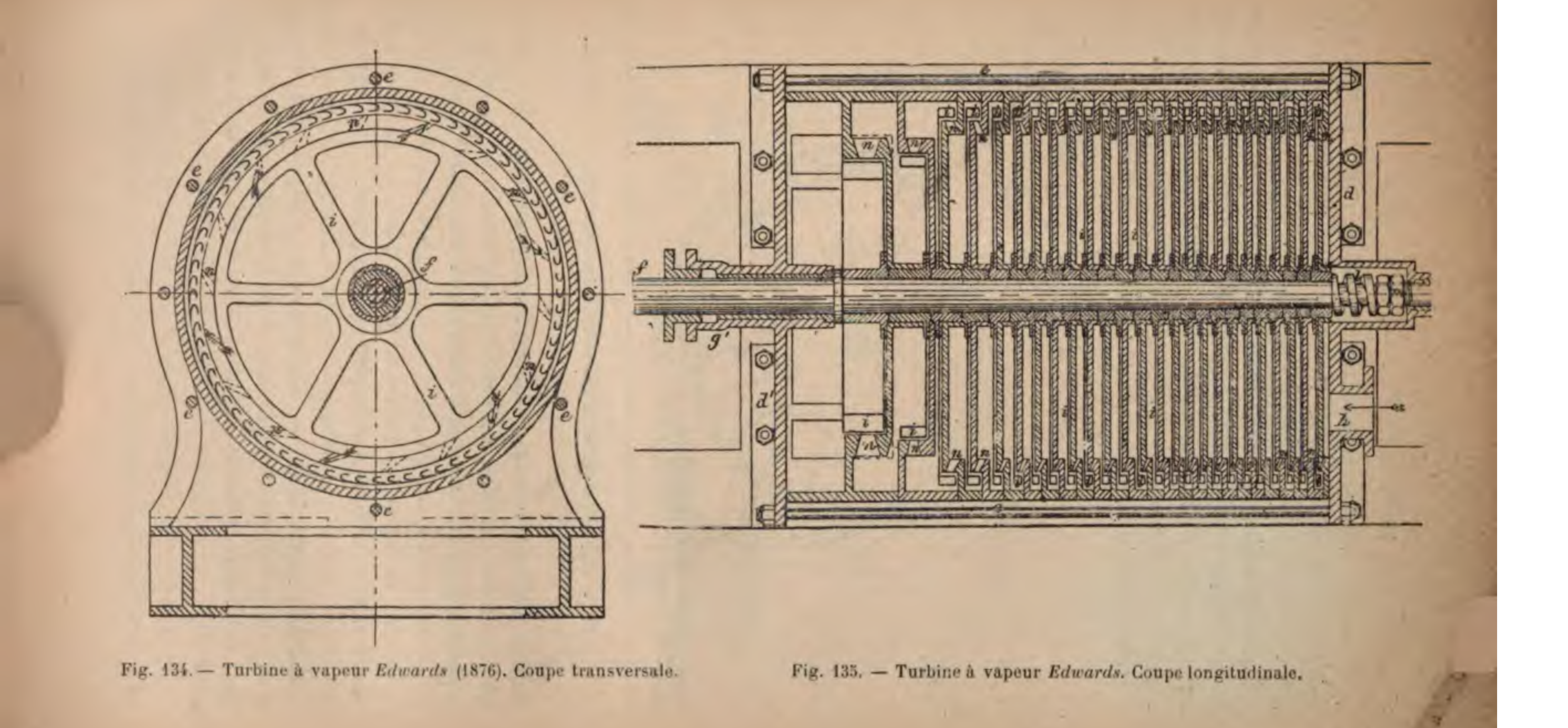


Fig. 134. — Turbine à vapeur *Edwards* (1876). Coupe transversale.

Fig. 135. — Turbine à vapeur *Edwards*. Coupe longitudinale.

passe dans le second compartiment, suit le même chemin que précédemment, passe dans le troisième compartiment, et ainsi de suite.

Dans la première série des turbines, la vapeur est dirigée en un flux centrifuge sur les aubes de celles-ci ; dans les dernières, tout à fait à gauche de la figure 135, elle est dirigée en un flux centripète.

Cette disposition permet d'utiliser mieux toute l'énergie de la

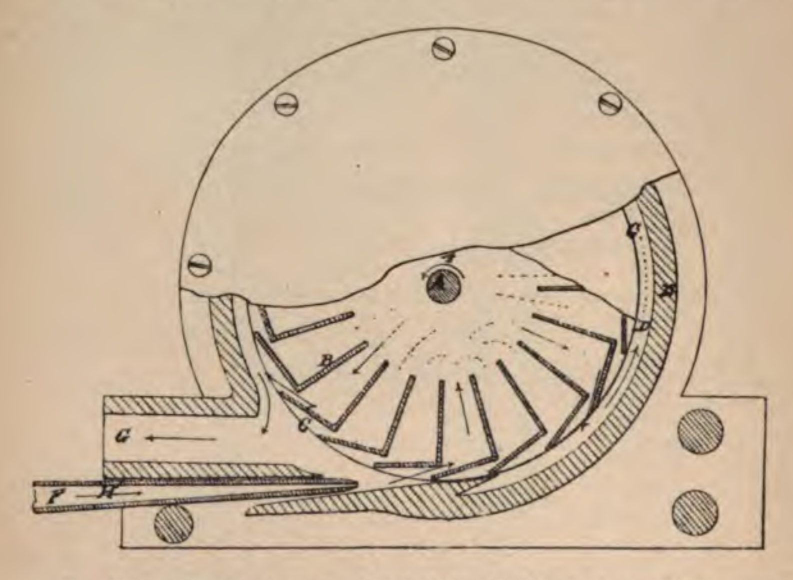


Fig. 136. — Turbine à vapeur *Clark* (1876). Elévation et coupe transversale.

vapeur, qui a une vitesse beaucoup moins grande près de la sortie qu'à l'arrivée. En effet, ces dernières turbines, tout en faisant le même nombre de tours que les autres, ont une vitesse circonférentielle beaucoup moindre.

Comme la vapeur se détend de plus en plus, les derniers compartiments sont de volume de plus en plus grand.

Melville Clark, 1876. — La turbine se compose des bras B, disposés radialement et recourbés à angle droit vers la périphérie (fig. 136). Elle est montée sur l'arbre A et enfermée dans la boîte E.

La vapeur, amenée par l'ajutage F, frappe les bras qui se trouvent en face du jet, en leur communiquant une impulsion ; elle se répand ensuite dans les autres bras et agit par réaction, pour s'échapper par la conduite G.

Ce sont donc deux actions simultanées, impulsion et réaction, qui caractérisent ce système.

James Smith, 1877. — La figure 137 représente une roue à vapeur à cinq bras A, A′, A″.

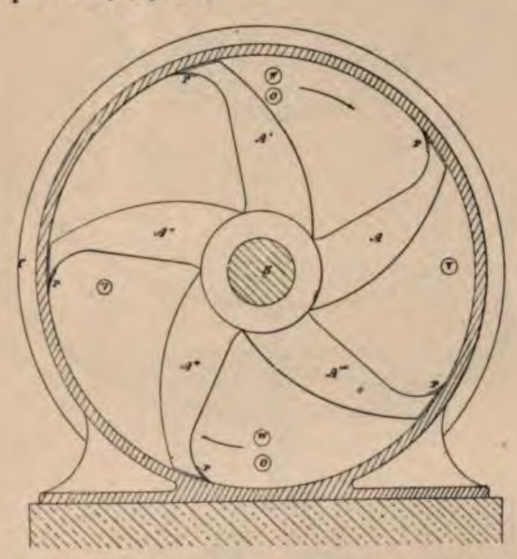


Fig. 137. — Roue à vapeur *Smith* (1877). Coupe transversale.

La vapeur admise en W O s'échappe par V. L'étanchéité des compartiments est obtenue à l'aide des lames élastiques *p*.

Froude, 1877. — L'appareil est composé de deux parties, l'une extérieure fixe, l'autre intérieure mobile, calée sur l'arbre *a* (fig. 138 à 140). La partie intérieure présente, de chaque côté, une cavité semi-elliptique *d*, en face d'une cavité analogue *d′* réservée sur la partie extérieure. Ces cavités sont coupées par une série de diaphragmes, comme l'indique la figure 141.

Un fluide lancé sur les diaphragmes de la turbine lui communique son mouvement, glisse le long de ces diaphragmes et de

ceux de la partie fixe ensuite, pour revenir à la turbine, et ainsi de suite, en suivant un mouvement tourbillonnaire.

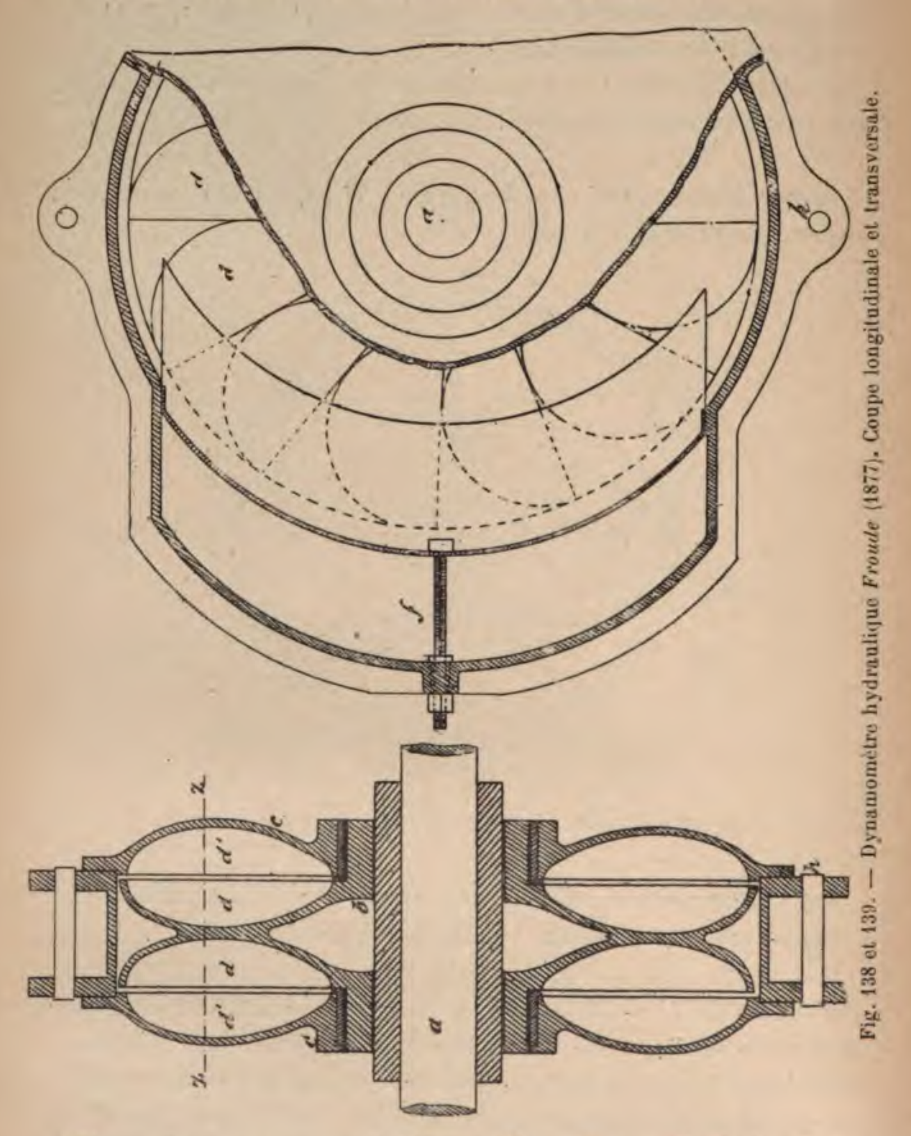


Fig. 138 et 139. — Dynamomètre hydraulique *Froude* (1877). Coupe longitudinale et transversale.

Nous citons cet appareil, bien qu'il ne fût pas destiné par son auteur à l'utilisation de l'énergie des fluides sous pression, uniquement parce qu'il a servi de type à certaines turbines créées plus tard.

Brydges, 1878. — Dans cette machine, les bras creux *b*, d'une forme particulière, sont fermés à la périphérie par des clapets *c*,

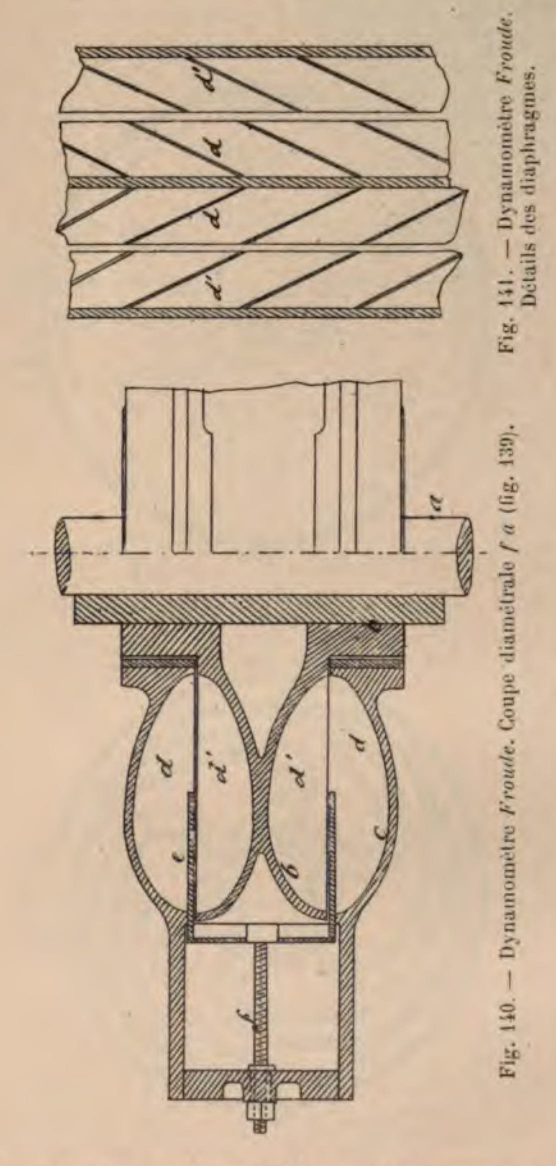


Fig. 140. — Dynamomètre *Froude*. Coupe diamétrale *f a* (fig. 139).

Fig. 141. — Dynamomètre *Froude*. Détails des diaphragmes.

dans lesquels on laisse seulement des petites ouvertures *d*. La vapeur agit par réaction dans l'intérieur des bras et par choc sur les appendices relevés *e* des clapets (fig. 142 et 143).

Lumley, 1878. — Sur l'arbre A, se trouve fixée une double roue B, divisée en plusieurs compartiments C par des cloisons (fig. 144 à 146).

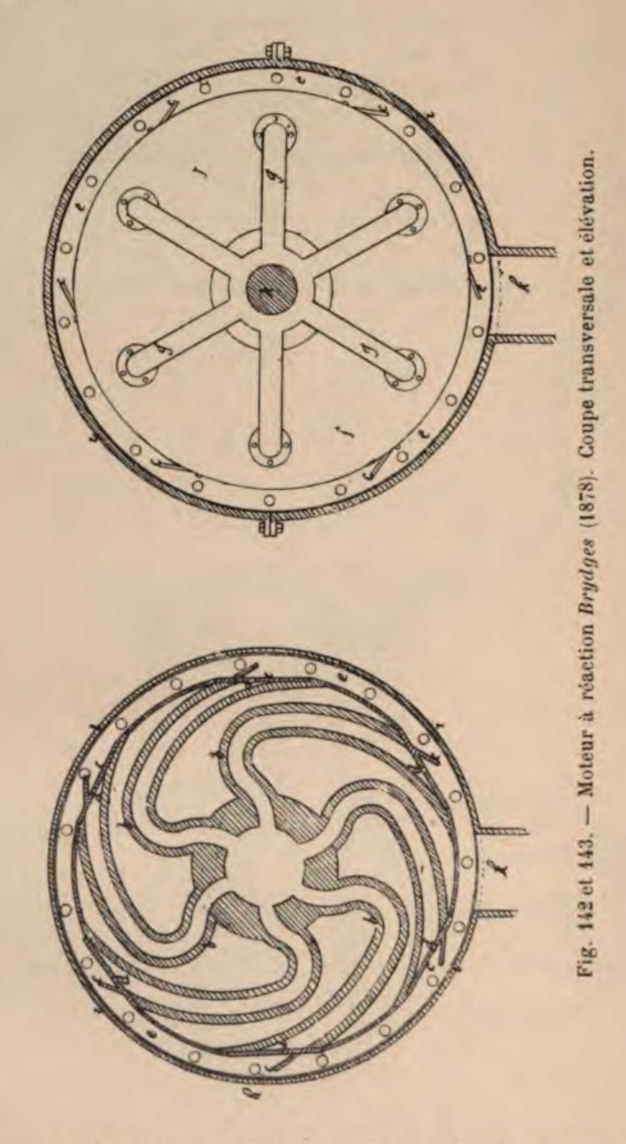


Fig. 142 et 143. — Moteur à réaction *Brydges* (1878). Coupe transversale et élévation.

La vapeur qui arrive par le tuyau D est distribuée par les cellules *d* dans les compartiments avec lesquels elles communiquent et qui, par la rotation même de la roue, communiquent successi-

vement ensuite avec les cellules d'évacuation *e* et le tuyau d'échappement E.

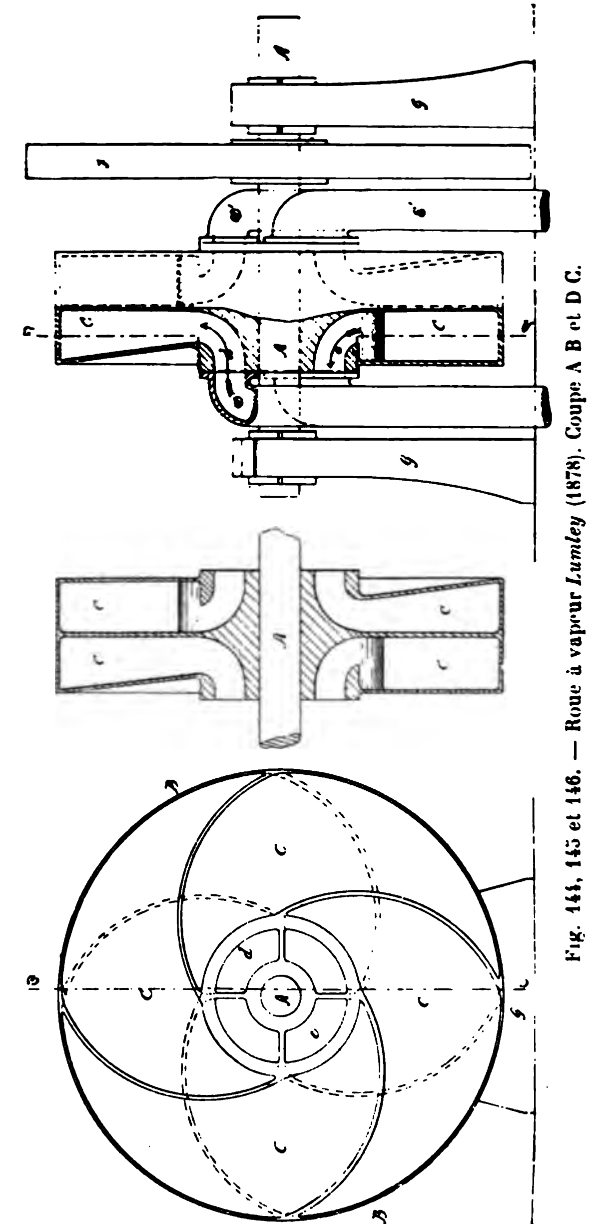


Fig. 144, 145 et 146. — Roue à vapeur *Lumley* (1878). Coupe A B et D C.

Le côté droit des figures 145 et 146 représente un appareil double symétrique à changement de marche.

En **1879**, **Delaurier** communique à l'Académie des Sciences un mémoire sur sa roue à vapeur.

N.-J. Raffard, 1878. — En 1878, M. Raffard décrit, dans le *Bulletin technologique des Arts et Métiers*, une turbine de son invention, à action combinée de vapeur et d'un métal liquide à 90° centigrades.

Gauckler, 1879. — Si la vitesse d'écoulement de la vapeur, même sous une très faible pression, est trop grande pour qu'elle puisse servir à actionner directement un moteur, il n'en est pas de même quand on prend pour intermédiaire un gaz ou un liquide.

La machine de Gauckler est basée sur ce principe.

Elle se compose (fig. 147) d'un tambour tronconique terminé par deux bases planes circulaires, dont la plus petite peut porter une demi-sphère. La surface de ce tambour porte, en creux, un ou plusieurs canaux hélicoïdaux, dont les rainures débouchent à la circonférence de la grande base et se terminent le plus près possible du pôle de la demi-sphère. L'arbre moteur passe dans l'axe du tambour. La distance entre le tambour et son enveloppe est d'environ un cinquantième de millimètre, ce qui donne un joint étanche.

Supposons l'axe horizontal. La grande base du tambour débouchera dans un récipient clos attenant à l'enveloppe. Ce récipient contiendra de l'eau jusqu'à une certaine hauteur, de façon à immerger un segment de cette base et, en tout cas, suffisante pour couvrir complètement l'orifice d'entrée du canal hélicoïdal; l'orifice opposé débouchera dans un autre réservoir clos, à gauche de la figure 143.

Supposons les deux récipients mis en communication, à leur partie inférieure, par une pompe foulante qui injectera l'eau du récipient de gauche dans celui de droite, et, à leur partie supérieure, par une conduite renfermant un éjecteur Giffard tendant à faire le vide dans le récipient de gauche et à comprimer l'air dans celui de droite.

Aussitôt que s'ouvrira le robinet qui permet l'accès de la

vapeur, elle s'élancera avec une grande vitesse dans le récipient de droite et y refoulera l'air qu'elle aura aspiré dans l'autre.

Entre les deux récipients, il se produira une différence de pression. L'eau s'engagera dans les rainures, à mesure que leurs orifices s'immergeront, avec la vitesse due à cette pression, et sa réaction fera tourner le tambour. En tournant, ce dernier fera successivement émerger les orifices, et l'air mélangé de vapeur s'en-

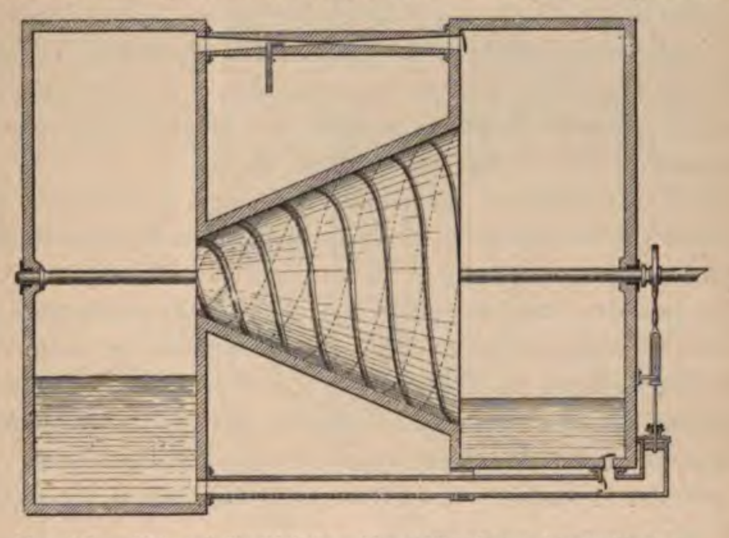


Fig. 147. — Moteur hélicoïdal *Gauckler* (1879). Coupe longitudinale.

gagera à son tour dans les rainures, en poussant devant lui les pistons d'eau qui en obstruent le passage. Après une révolution complète, chaque orifice se retrouvera à son point de départ; un nouveau piston d'eau s'engagera dans les rainures, suivi d'une nouvelle tranche de gaz.

Aussi longtemps que cette tranche est en communication avec le récipient de droite elle est soumise à une pression constante. Mais dès qu'elle en est séparée par un second piston, le gaz se détend à mesure que la pression diminue devant lui, et il arrive à l'orifice d'issue avec une pression à peu près égale à celle qui existe dans le récipient de gauche.

Pendant le parcours, par suite de sa dilatation, l'air s'est refroidi et a emprunté du calorique aux pistons liquides qui l'enserrent et à la vapeur d'eau qu'il contient; une partie même de l'eau des

pistons peut se vaporiser dans certains cas. Une très grande partie de la chaleur est donc transformée en force motrice.

La vitesse du piston liquide à l'orifice d'entrée, sera celle que prendrait l'eau en tombant d'une hauteur due à la pression du petit récipient. En supposant au tambour une vitesse tangentielle moitié moindre, comme c'est le cas dans les roues hydrauliques analogues, on pourra toujours donner à la grande base du tronc de cône une circonférence telle que la vitesse de rotation ne soit pas supérieure à celles qui sont usitées dans l'industrie. La vitesse de sortie, qui a lieu presque tangentiellement à une circonférence dont le rayon est beaucoup moindre que celui de la grande base sera réduite dans le rapport des deux rayons.

Si le rapport de ces rayons est un dixième, la vitesse de sortie ne sera que le dixième de la vitesse d'entrée et la perte du travail disponible qui en résultera ne sera que la centième partie. Il y aura donc de ce chef une perte insignifiante. On augmentera d'ailleurs la dimension des rainures à partir du point où commence la détente, de façon qu'elle se puisse opérer complètement : la pression sur les parois du canal diminuera, mais la surface actionnée augmentera dans le même rapport. Les pistons liquides serviront à lubrifier la machine et, la force centrifuge aidant, les fuites de gaz deviendront insignifiantes.

Cuttler, 1879. — Sur l'arbre *b*, se trouve fixé un disque *a* (fig. 148 à 151). Ce disque, sur l'une ou sur les deux faces, est partagé en compartiments concentriques *c* ; ces compartiments alternent avec une autre série de compartiments *d*, faisant partie de l'enveloppe *e*.

La vapeur peut suivre la direction centrifuge ou centripète.

Dans l'appareil tel qu'il est représenté sur la figure 148, elle se dirige du centre à la périphérie.

Les espaces annulaires *c* portent les aubes réceptrices (fig. 149), les espaces annulaires *d*, les aubes distributrices (fig. 150).

Leverkus, 1881. — Leverkus étudia la meilleure forme à donner aux palettes des turbines pour obtenir le plus grand ren-

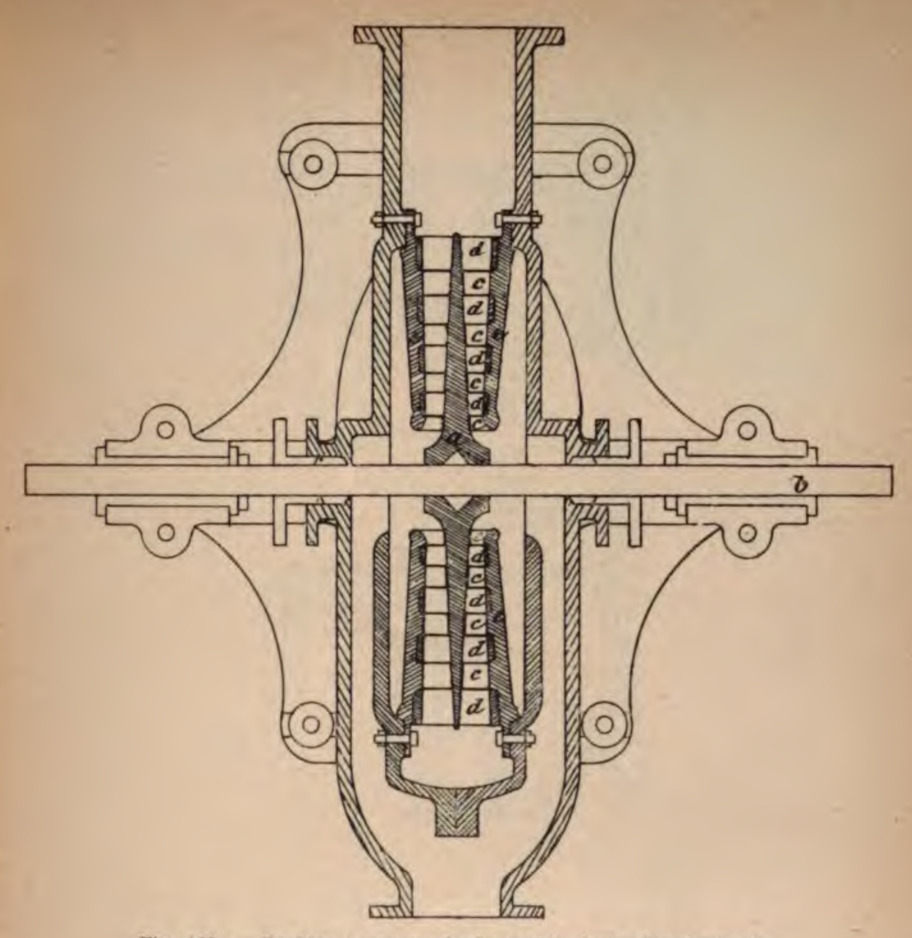


Fig. 148. — Turbine à vapeur *Cutler* (1879). Coupe longitudinale.

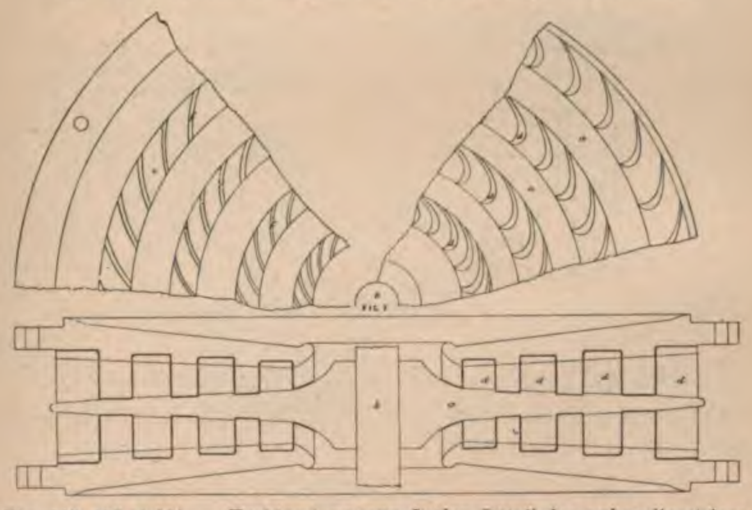


Fig. 149, 150 et 151. — Turbine à vapeur *Cutler*. Détail des aubes directrices et réceptrices.

dement sans avoir besoin de recourir aux grandes vitesses des turbines.

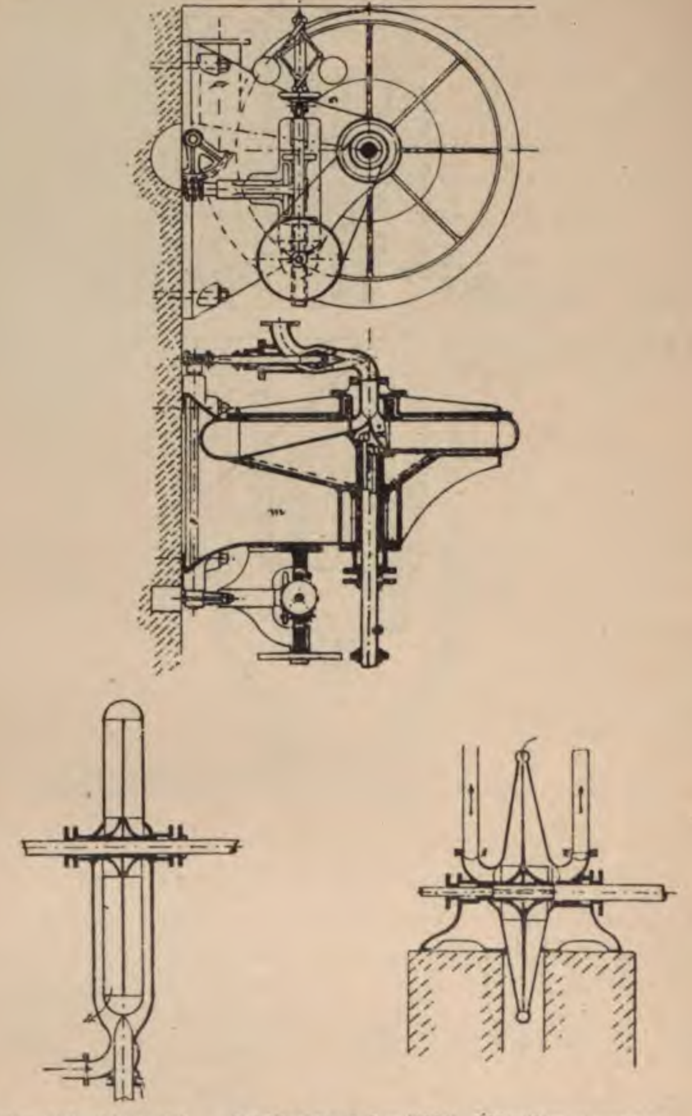


Fig. 152, 153 et 154. — Turbine *Leverkus* (1881). Élévation et coupes.

La figure 152 représente sa turbine murale horizontale.

Deux autres figures (153 et 154) représentent une turbine verticale.

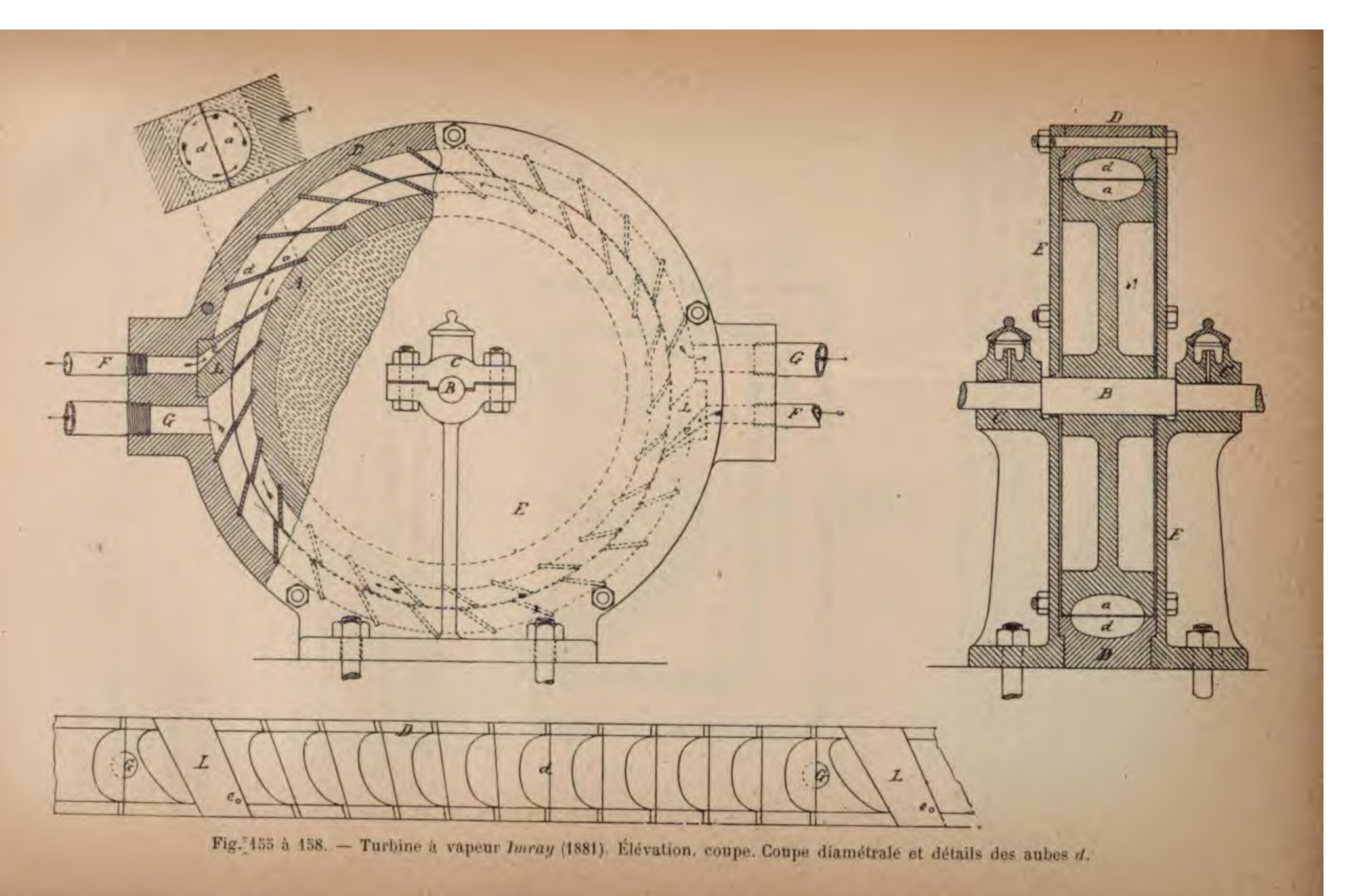


Fig. 155 à 158. — Turbine à vapeur *Imray* (1881). Élévation, coupe. Coupe diamétrale et détails des aubes *d*.

John Imray, 1881. — L'appareil consiste en une boîte fixe E D et une partie mobile A, calée sur l'arbre B (fig. 155 à 158).

La jante du disque A est évasée ainsi que l'enveloppe D et le canal de section elliptique ainsi formé est coupé de distance en distance par des ailettes *a* et *d*.

La vapeur admise en F est dirigée par l'ajutage conique convergent *e* dans la première case du disque A. Elle glisse le long de ses parois, comme l'indique la figure 154, en communiquant une

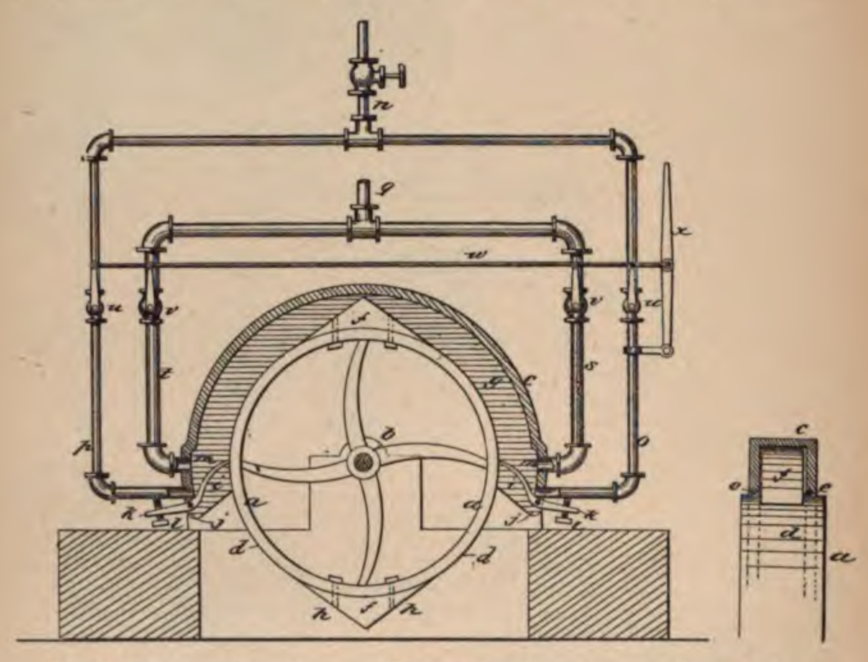


Fig. 159 et 160. — Roue à vapeur *Webs* (1882). Coupe transversale et détail.

impulsion à ce disque. De la première case du disque mobile, elle revient à la case opposée de l'enveloppe D, pour passer à nouveau dans la case suivante du disque, et ainsi de suite. Elle passe ainsi d'un compartiment à l'autre jusqu'à l'échappement G, en communiquant une série d'impulsions successives au disque qui entraîne l'arbre.

L'admission peut se faire simultanément des deux côtés opposés de la turbine, de façon à éviter les efforts unilatéraux sur les coussinets C.

Webb, 1882. — La roue à vapeur Webb ne comporte que deux arbres *f*, diamétralement opposés (fig. 159 et 160).

La chambre de vapeur *g* est formée par l'enveloppe *c*, la roue *a* et le clapet *i*.

L'admission de vapeur se fait par le tuyau *o* ou *p*, suivant la direction qu'on veut imprimer à la roue ; l'échappement de vapeur a lieu soit par le tuyau *s*, soit par le tuyau *t*.

Cooper, 1882. — A représente la roue à vapeur montée sur l'arbre B (fig. 161 et 162).

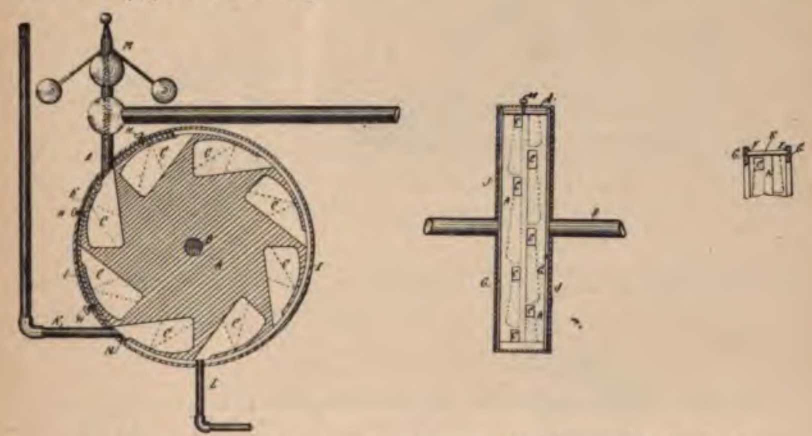


Fig. 161 et 162. — Roue à vapeur *Cooper* (1882). Coupes longitudinale et transversale. Détail.

Le disque A porte des entailles C, pour recevoir le jet de vapeur venant par le tuyau D. La turbine est enfermée dans une boîte IJ. Sur une partie de cette boîte, à sa surface interne, se trouve appliquée une plaque E, dont les bords sont fixés dans les rainures FF et qui est maintenue sur place par des vis HH. L'étanchéité est ainsi parfaitement garantie. L'échappement de vapeur se fait par le tuyau K. L'eau condensée est évacuée par le conduit L.

De Laval. — En 1883, *de Laval* crée sa première turbine ou, plus exactement, un moteur à réaction.

Entre deux disques *i i* (fig. 163 et 164), se trouvent maintenus deux tubes semi-circulaires *a* et *b*. Le tout est compris dans une boîte R.

Un ajutage *f* amène la vapeur ; *g* est le tuyau d'échappement.

L'arbre de la turbine *n* porte un cône à friction *c*, qui transmet le mouvement à l'aide de la roue *d*, à l'arbre principal *m*, portant la poulie *v*.

Ce moteur à réaction a été appliqué par de Laval à son ingénieux séparateur connu sous le nom d'écrémeuse automotrice.

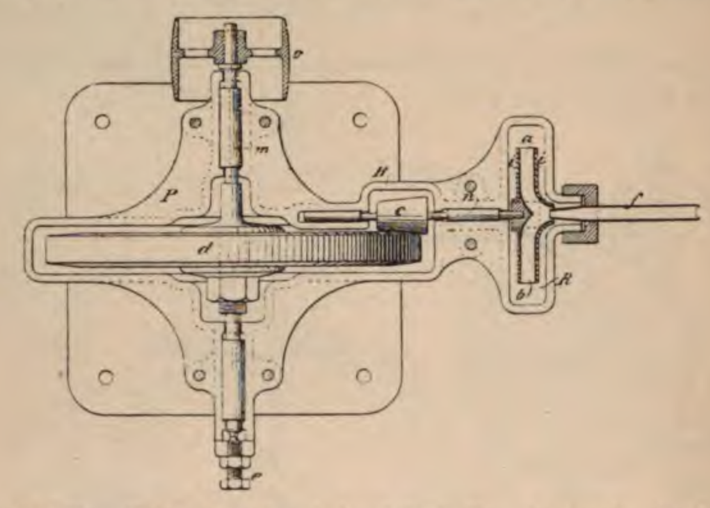


Fig. 163. — Moteur à réaction *de Laval* (1883). Plan et coupe diamétrale.

En **1884**, **Laliberty** fait breveter une roue à vapeur.

Parsons, 1884. — En 1884, Parsons réalise son *Turbogénérateur électrique* (fig. 165), dont le moteur était une turbine du type Jonval à circulation parallèle à l'axe de rotation accouplée directement à la dynamo.

Dans le premier modèle, toutes les turbines étaient du même diamètre et l'expansion de la vapeur était utilisée en variant la profondeur et les pas des ailettes. Ces appareils marchaient à des vitesses atteignant 18 000 tours par minute.

Sa *turbine compound* consiste en deux séries de turbines juxtaposées sur un même arbre, de sorte que chaque turbine reçoit la vapeur de la précédente et la passe à la suivante.

La vapeur se détend à mesure qu'elle perd de la pression au passage de chaque turbine ; et, par degrés successifs, les turbines

ou leurs passages libres augmentent de dimensions, proportionnellement à l'accroissement du volume de la vapeur.

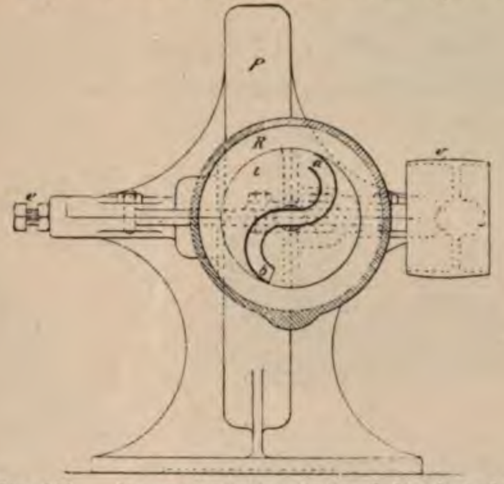


Fig. 164. — Moteur à réaction *de Laval*. Vue latérale.

Les turbines sont constituées par des couronnes d'ailettes alternativement tournantes et fixes.

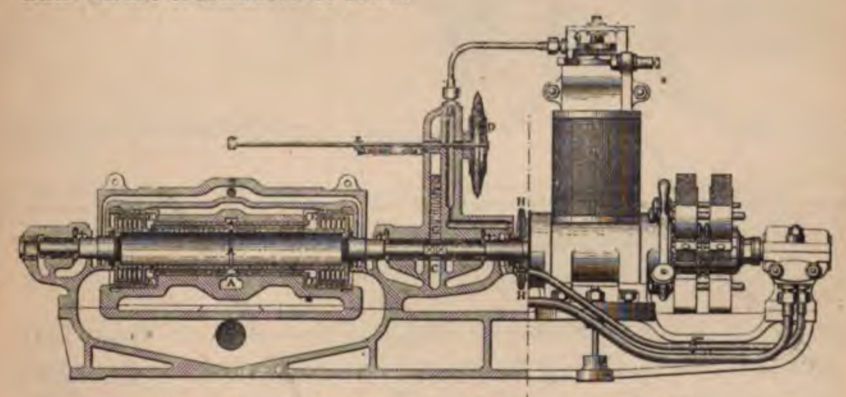


Fig. 165. — Turbogénérateur électrique *Parsons* (1884).

Les ailettes tournantes sont taillées avec inclinaison à droite et à gauche sur la partie extérieure d'une série des disques en bronze serrés et fixés par des clavettes sur l'arbre moteur; les disques extrêmes forment écrous vissés sur l'arbre et serrent les autres entre eux. Les ailettes directrices sont taillées avec inclinaison en sens opposé, sur la partie inférieure des rondelles en

267406B

bronze d'un diamètre plus grand, occupées par moitié et fixées dans la jante.

Dumoulin, 1884. — La partie fixe de cette turbine à double réaction et à détente absolue, comme l'appelle son auteur, se com-

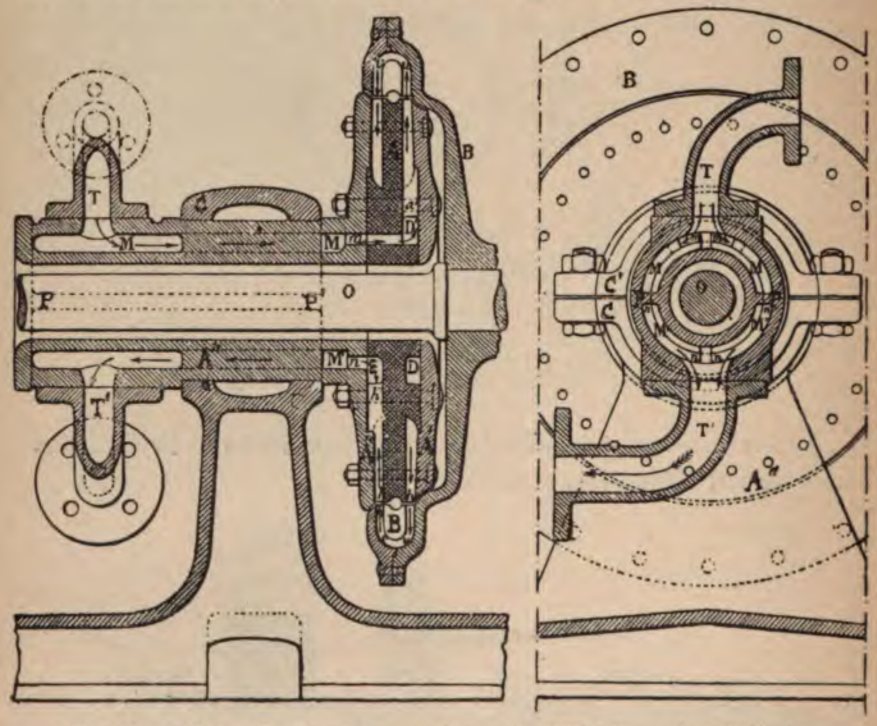


Fig. 166 et 167. — Turbine à vapeur *Dumoulin* (1884). Coupe longitudinale et transversale.

pose d'un tourteau central en bronze distributeur du fluide moteur A A' A'' assujetti à un support CC'. Le fluide lui est transmis de la tubulure T, munie d'un robinet régulateur, par la boîte d'admission M M', la lumière *m m* et l'espace annulaire D D'.

Dans l'épaisseur de ce tourteau, à droite et à gauche de son disque ou moyeu central en bronze A A et sur chacune de ses faces internes, sont ménagées quatre séries identiques de huit canaux ou ajutages adducteurs *a b c d e f g h*, sur la face droite, et huit abducteurs sur sa face gauche : *a' b' c' d' e' f' g' h'* (fig. 168 et 169).

Chacun de ces canaux abducteurs sont respectivement en com-

munication, par leur base la plus rapprochée du centre de l'appareil : $\frac{a'}{b}\frac{b'}{c}\frac{c'}{d}\frac{d'}{e}\frac{e'}{f}\frac{f'}{g}\frac{g'}{h}$, avec la base du canal abducteur précédent, sauf le premier adducteur $a\,a''$ et le dernier abducteur $h'\,h''$ de chaque série, dont les bases communiquent : celle du premier abducteur $a\,a''$ avec la capacité annulaire de droite D D′, recevant la vapeur directe de la partie supérieure de la boîte cylindrique d'admission M M par la lumière *m m*, et celle du second, soit : du dernier abducteur $h'\,h''$ avec l'espace annulaire de gauche E E′ donnant lui-même accès à la vapeur d'échappement, dans l'atmosphère, ou dans un condenseur par la lumière *n n* et la partie inférieure de la même boîte M′ M′, cette boîte étant divisée par les cloisons P P′ en deux compartiments annulaires semi-cylindriques indépendants.

Les sections réduites des canaux adducteurs, à leurs extrémités *abc* ... *h*, ainsi que celles des adducteurs $a'\,b'\,c \ldots h'$, débouchant à la périphérie du tourteau central, vont en augmentant suivant une progression calculée d'après les lois de l'écoulement de la vapeur, telle que celle-ci perd successivement, dans son parcours de *a* en h', une fraction déterminée de sa pression primitive.

La partie mobile constituant la turbine motrice proprement dite ou récepteur se compose d'une roue en fonte BB, calée sur un arbre moteur O; elle est munie, à sa circonférence, d'une couronne réceptrice en bronze B′ B′, également emboîtée sur le tourteau distributeur déjà décrit en l'enveloppant exactement et ne laissant entre la circonférence extérieure de ce tourteau et celle intérieure de la couronne que le plus faible jeu possible.

Cette couronne réceptrice B′ B′ est munie comme le tourteau distributeur, sur tout son pourtour, de canaux ou ajutages récepteurs *u v u v*...*u v* (fig. 166, 168 et 169) en forme d'U, suivant leur direction radiale, dont les branches droites *uu*, légèrement évasées sur leurs côtés latéraux à leur embouchure, coïncident exactement avec leurs adducteurs *a b c*...*h*, et leurs branches gauches *v v*, non évasées à leur sortie, avec leurs abducteurs $a'\,b'\,c' \ldots h'$ également évasés à leur entrée, les mettant ainsi successivement et constamment en communication directe durant le mouvement de rotation de la couronne.

On voit que les branches droites *u u*...*u* des canaux récepteurs

de cette couronne, font l'office d'abducteurs par rapport aux adducteurs correspondants *a b c...h*, et leurs branches de gauche *v v...v*, celui d'adducteurs par rapport aux abducteurs fixes correspon-

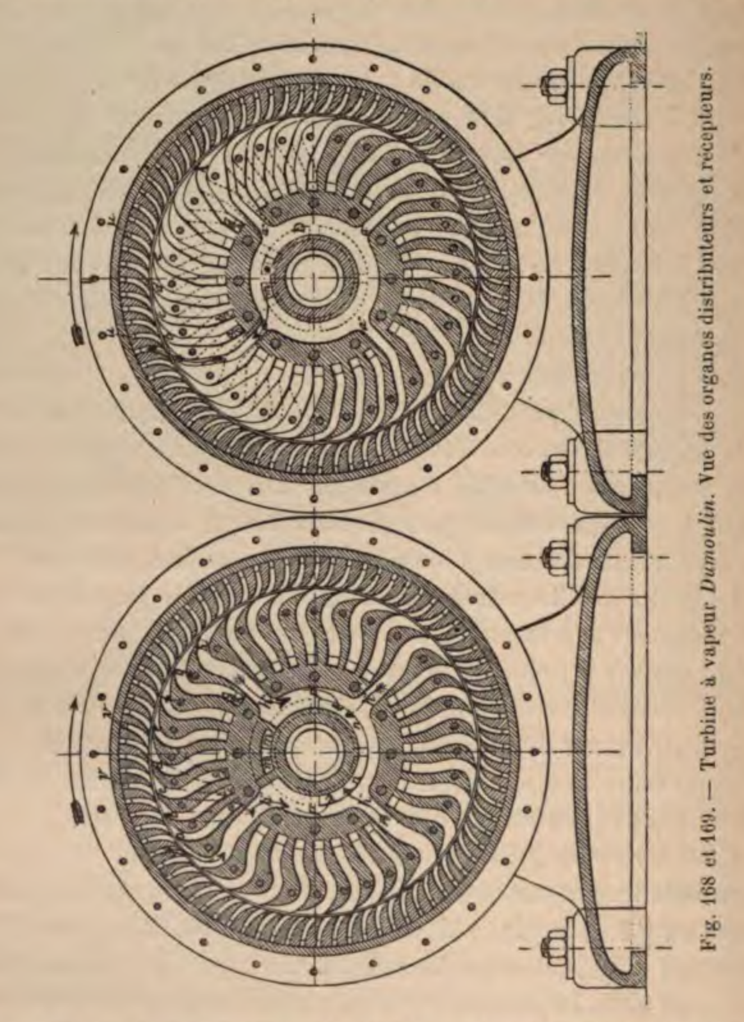


Fig. 168 et 169. — Turbine à vapeur *Dumoulin*. Vue des organes distributeurs et récepteurs.

dants a' b' c'...h' du tourteau. Le fluide moteur produit ainsi une première impulsion motrice directe à son entrée dans les branches de droite *u u...u* et une deuxième par réaction égale et de même sens, à sa sortie par les branches de gauche *v v...v*.

On voit aussi que le fluide moteur venant de la capacité semi-annulaire DD', injecté par les premiers adducteurs $a''aa''a$ des quatre séries

de groupes, passe successivement et librement par les séries complètes suivant $a'' a u v \frac{a'}{b} - b' u v, \frac{b'}{c} - c u v, \frac{c'}{d} - d u v, \frac{d'}{f} - f u v, \frac{f'}{g} - g u v, \frac{g'}{h} - h u v h' h''$ comme l'indiquent les flèches dans les figures 166, 168 et 169, pour se rendre finalement dans la capacité annulaire de gauche EE′, d'où il s'échappe librement dans l'atmosphère ou dans un condenseur par la lumière *nn*, le compartiment semi-annulaire M′M′ et la tubulure d'échappement T′, après avoir imprimé à la turbine, dans le sens du mouvement de rotation, huit impulsions directes et huit réactions par chaque série, en se détendant graduellement jusqu'à la pression atmosphérique.

En effet, cette vitesse relative diminue successivement, à chacune des huit émissions, d'une fraction égale au rapport de la vitesse circonférentielle de la couronne mobile à celle d'émission par chacun des huit groupes d'ajutages; la vapeur s'échappe par conséquent finalement, par le dernier adducteur *h*, avec une vitesse relative égale à celle d'émission diminuée de la somme totale de ces huit fractions successives.

Dumoulin, 1884. — La première disposition de Dumoulin dérive de la turbine hydraulique du type Fourneyron, c'est-à-dire formée d'un système de canaux adducteurs ou directrices fixes et d'une couronne mobile et pourvue d'aubes ou canaux abducteurs-récepteurs, tandis que la seconde dérive du type Girard appelé roue à réaction, c'est-à-dire à évacuation circonférentielle libre, sans aubes mobiles ou canaux récepteurs, les adducteurs seuls formant la roue motrice elle-même (fig. 170 à 173).

Il en résulte que la partie fixe ou tourteau central de la première disposition devient au contraire dans celle-ci la partie mobile, constituant également la roue motrice sur elle-même DD, en sorte que ladite couronne mobile supprimée et remplacée par une enveloppe fixe C′C′, formant une série de compartiments étanches III dans lesquels se meuvent autant de roues motrices $D_1 \ldots D_8$, travaillant sous des pressions graduellement décroissantes.

Les canaux adducteurs *abc...h*, ainsi que les canaux abducteurs *a′ b′ c′...h′*, au lieu d'être disposés à la suite, sur la circonférence d'un tourteau unique et dans un même plan vertical, comme précédemment, sont au contraire disposés ici à la suite les uns des

autres suivant la longueur de l'axe de rotation O O, et forment autant de roues motrices $D_1D_2D_3 \ldots D_8$ entraînant simultanément ce même axe O O, avec lequel elles sont solidaires (fig. 170 et 171).

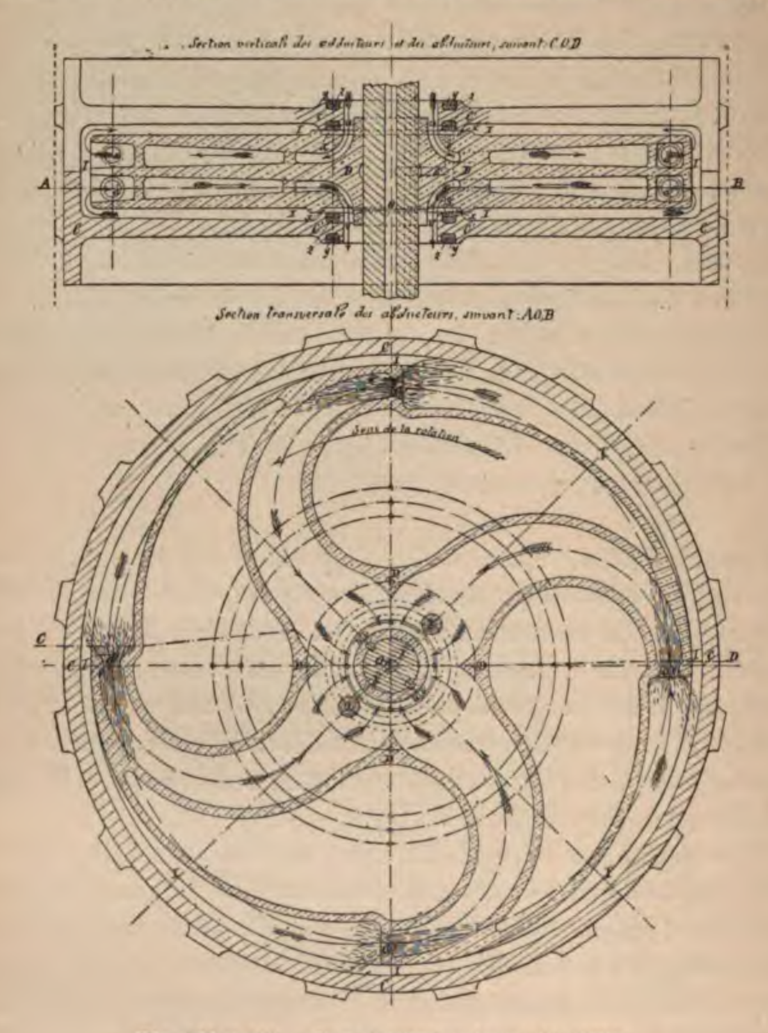


Fig. 170 et 171. — Roue à réaction *Dumoulin* (1884).

Chacune de ces roues motrices $D_1 \ldots D_8$ est formée de quatre adducteurs *abc...h* et de quatre abducteurs *a'b'c'...h'*, soit de quatre groupes communiquant entre eux par leurs extrémités circonférentielles, avec les compartiments étanches III, formés par les disques ou

cloisons CC′, qui enveloppent chaque roue, et dans lesquels débouchent leurs huit orifices, soit les quatre adducteurs et les quatre abducteurs correspondants.

Les compartiments étanches III, ainsi que les fonds BB′ du cylindre extérieur, formant bâti AA′, sont enveloppés, en outre, par la vapeur directe à la pression initiale circulant dans l'espace annulaire HHH, compris dans le cylindre extérieur AA′ et entre les cloisons enveloppes CC′. Cette couche de vapeur directe a pour but de s'opposer à la condensation de la vapeur pendant sa détente successive, et même de la surchauffer en lui restituant continuellement les calories transformées en travail moteur.

Les quatre abducteurs *a′b′c...,h′* de chacune des 6 roues intermédiaires $D_2D_3D_4D_5D_6D_7$ communiquent, vers leurs centres respectifs, par les conduits annulaires *uv*, *uv*, avec les quatre adducteurs *bcdh* de la roue suivante, tandis que les quatre adducteurs *aa* de la première roue D_1 communiquent, par un semblable conduit annulaire *v′v′*, avec les lumières *mm*, la chambre de destination MM et la tubulure T, munie d'un robinet régulateur de l'admission.

Enfin, les quatre adducteurs *h′h′* de la dernière roue D_8 communiquent également par le conduit *u′u′* les lumières *nn* et la chambre M′M′, avec la tubulure d'échappement T′.

Les huit compartiments III ne devant communiquer de l'un à l'autre que par les conduits *buv b′cuvc′...guvg′*, formés par l'abducteur de chaque roue et celui de la suivante, leur obturation vers le centre en C′C′ est obtenue au moyen de trois anneaux pouvant être changés à volonté par suite de l'usure : l'un en acier *xx*, fixé sur chacune des faces des moyeux des roues motrices, l'autre en bronze *yy*, formant joint de friction avec ce dernier et encastré librement dans des cannelures annulaires ménagées sur chaque face des cloisons fixes en C′C′; ces mêmes cannelures reçoivent également des anneaux en caoutchouc vulcanisé *zz*, formant ressort pour assurer le contact des deux premiers et servant en même temps de garnitures obturatrices.

Le fluide moteur, suivant la direction des flèches, est admis dans la machine par le robinet régulateur fixé sur la tubulure T, pénètre dans la chambre de distribution MM, d'où il se rend, par les lumières, *m*, *m*, d'une part dans la double enveloppe H H H, et,

d'autre part, par le conduit annulaire $u'u'$, dans les quatre conduits adducteurs de la première roue D, d'où il s'échappe dans le premier compartiment fixe II, en produisant une première réac-

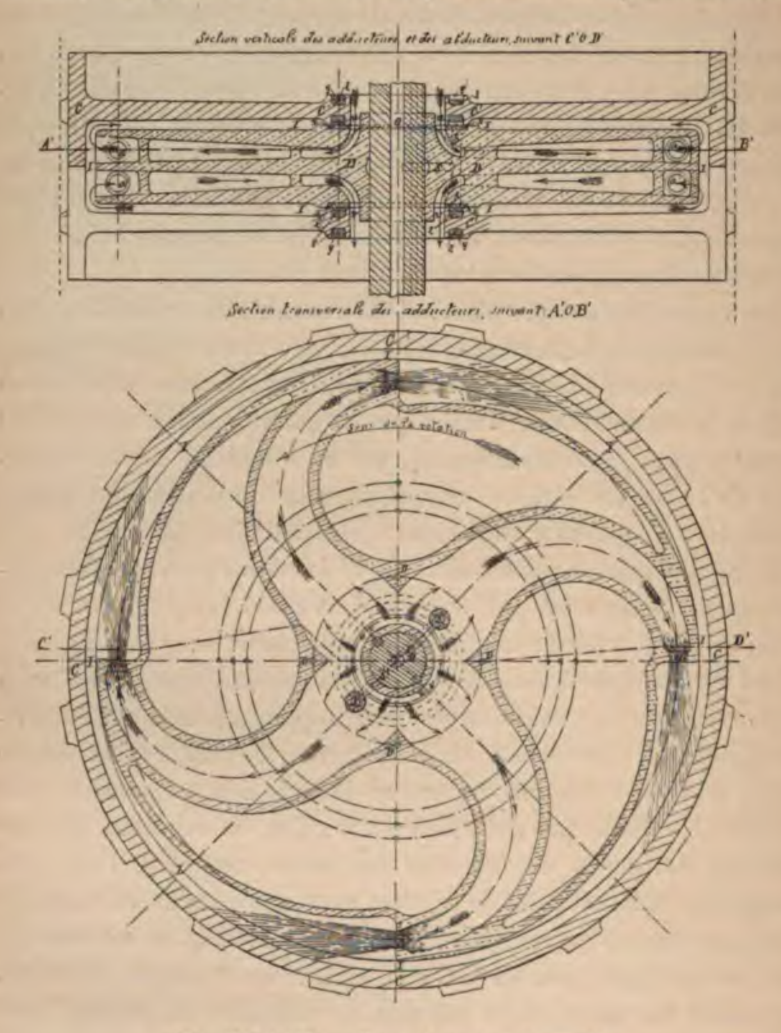


Fig. 172 et 173. — Roue à réaction *Dumoulin*.

tion sur les quatre orifices adducteurs *aa*; de ce premier compartiment, il passe dans le deuxième, par les quatre conduits abducteurs *a'* correspondants, en produisant une deuxième réaction de même sens sur ses quatre orifices abducteurs *a'a'*, pour se rendre

par le conduit annulaire *u v u v* dans le troisième compartiment et ainsi de suite suivant *cuvc'*, *duvd'*...*huvh'u'*, d'où il pénètre par les lumières *uu* dans la chambre M'M' pour sortir finalement par la tubulure T' communiquant elle-même avec l'atmosphère ou un condenseur.

Powers, 1885. — La roue *a* porte à la périphérie une série de

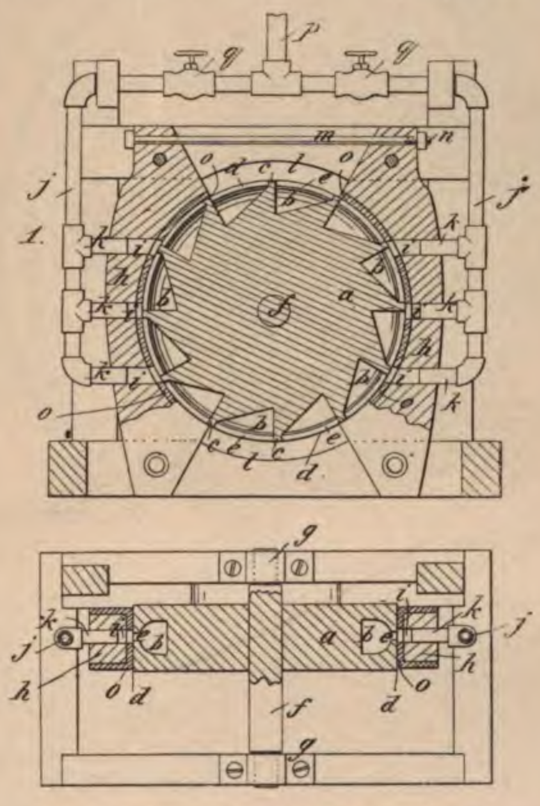


Fig. 174 et 175. — Roue à vapeur *Powers* (1885).

cavités *b* qui forment les aubes. La vapeur est lancée sur ces aubes par plusieurs ajutages *i* et s'échappe en *l* (fig. 174 et 175).

Lagresille, 1885. — L'appareil est une roue à réaction. La vapeur est amenée dans une chambre centrale, d'où elle se répand dans plusieurs ajutages. La section de ces ajutages grandit dans une

proportion considérable à partir de l'admission ω_0 jusqu'à la sortie de la vapeur ω_1.

Pour augmenter l'effet de la réaction, on donne à ces conduites

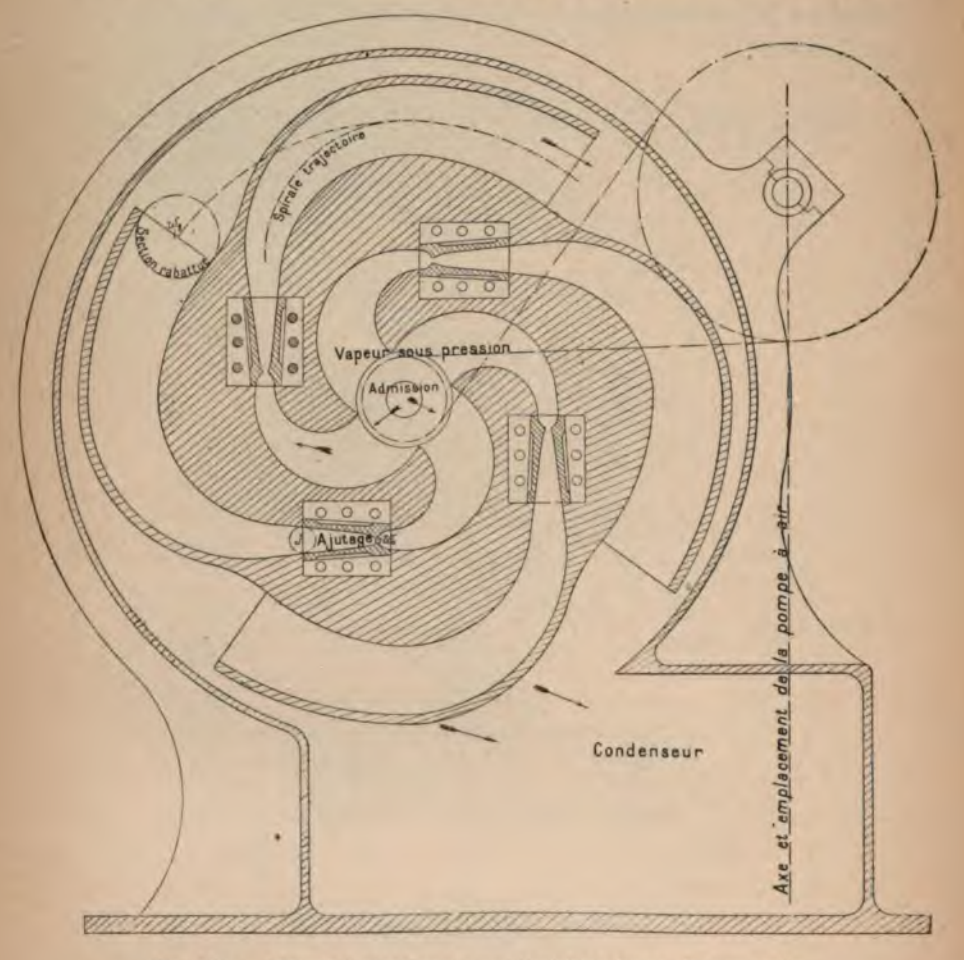


Fig. 176. — Moteur à réaction *Lagresille* (1885). Coupe transversale.

de vapeur la forme particulière indiquée sur la figure 176. Pour mieux utiliser son énergie, la vapeur, en sortant des ajutages, peut être dirigée sur les aubes disposées à l'intérieur du tambour.

Isaac Last, 1885. — Un ou plusieurs disques *e* (fig. 177 et 178) sont calés sur l'arbre *c*. Ces disques portent sur chaque face une

rangée de palettes *v*. Les couronnes ainsi formées ont des diamètres différents, l'une étant extérieure à l'autre. Les palettes *v* sont placées en face des palettes *g*, fixées sur l'enveloppe cylindrique *b*.

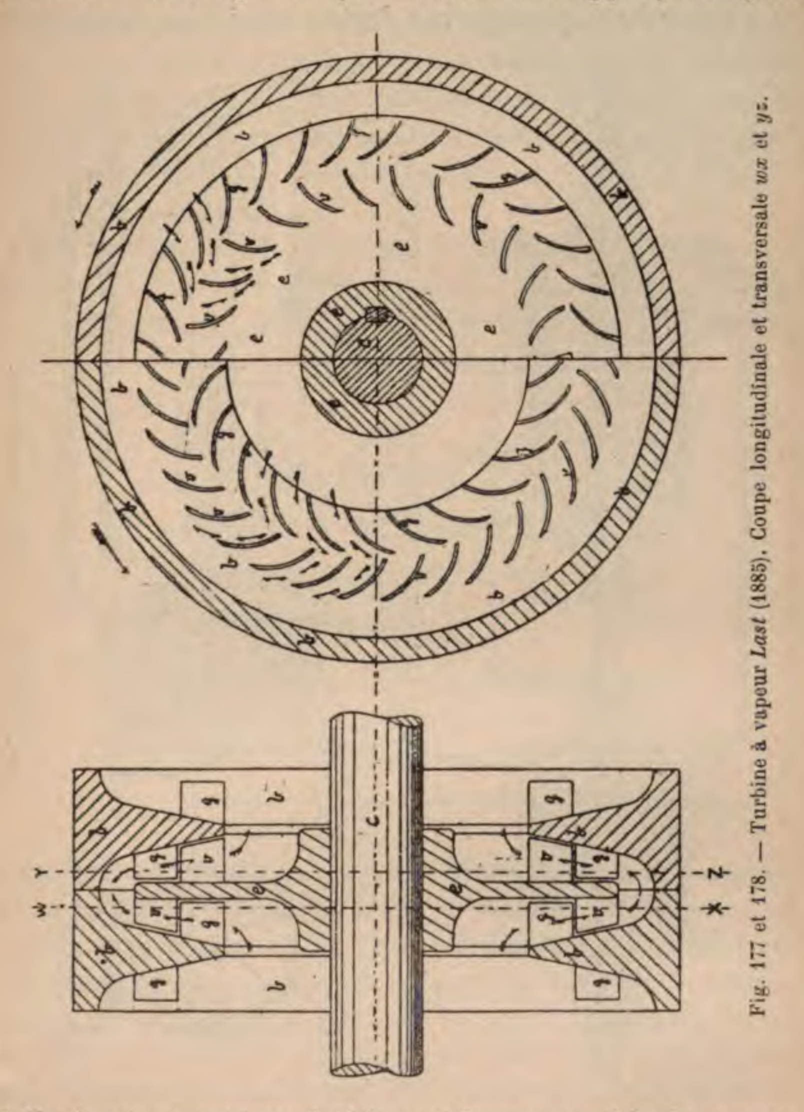


Fig. 177 et 178. — Turbine à vapeur *Last* (1885). Coupe longitudinale et transversale *wx* et *yz*.

Celle-ci, par ses nervures intérieures, forme une série de compartiments séparés.

La vapeur est dirigée tout d'abord, par les aubes fixes *g* de l'enveloppe *b*, sur les aubes mobiles *v* du disque *e*; elle change

ensuite de direction et se trouve lancée à nouveau, par les aubes distributrices g, sur les aubes réceptrices v du côté opposé du disque qui entraîne l'arbre.

La figure 179 représente une double rangée des turbines. La

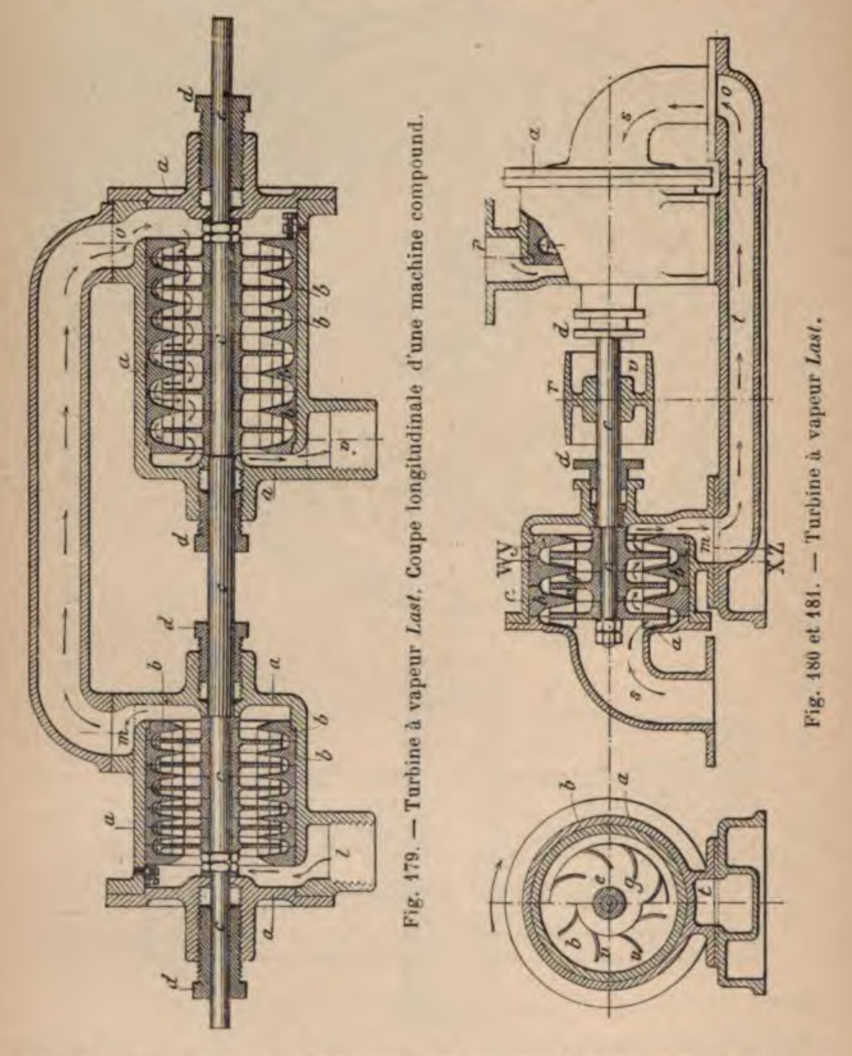


Fig. 179. — Turbine à vapeur *Last*. Coupe longitudinale d'une machine compound.

Fig. 180 et 181. — Turbine à vapeur *Last*.

vapeur est admise en l; après avoir traversé la première série et subi une certaine détente, elle passe par le tuyau *no* et s'engage en une direction opposée dans une autre série de roues à aubes, où la détente continue à se produire graduellement. Les palettes

sont disposées de façon que ces deux actions s'ajoutent pour communiquer le même mouvement à l'arbre *c*, tout en évitant les pressions unilatérales de la vapeur sur les disques du demi-cylindre supérieur et inférieur de l'enveloppe à l'aide de clavettes.

La série d'ailettes de chaque disque mobile tourne entre deux disques d'ailettes fixes. Les passages entre les ailettes dans les disques successifs forment, lorsque la machine est au repos, une série longitudinale de canaux en zigzag.

Brunner, 1886. — La boîte de la turbine se compose de deux pièces et se termine du côté longitudinal par un moyeu *b* destiné à servir de palier à l'axe (fig. 182). Du côté opposé se trouvent

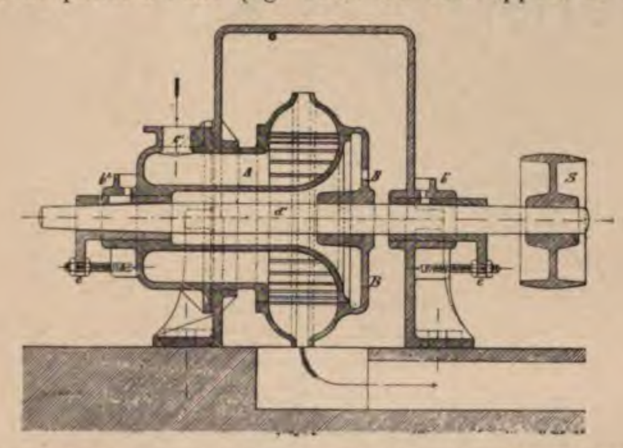


Fig. 182. — Turbine à vapeur *Brunner* (1886). Coupe longitudinale.

l'accumulateur A et l'autre palier b^2. Dans la partie supérieure de l'accumulateur est pratiqué l'orifice *c* pour l'entrée de la vapeur.

La turbine B est fixée sur l'axe *d*, dont les extrémités sont portées par des coussinets coniques. En serrant les vis *e* de temps en temps, on peut neutraliser l'usure des parties frottantes. Sur un des côtés de l'axe *d*, est fixée la poulie S; à l'autre côté, peut être fixé le mouvement du régulateur. Lorsque la vapeur entre par l'ouverture *c* dans le réservoir A et, de là, dans la turbine, celle-ci, par suite de la réaction de la vapeur qui passe à travers ses aubes, se met en mouvement. L'admission de la vapeur motrice dans la turbine peut être complète ou partielle, c'est-à-dire que l'on peut

en disposer les aubes sur toute ou une partie seulement de la circonférence de la roue.

Howden et Hunt, 1889. — Les roues motrices sont contenues

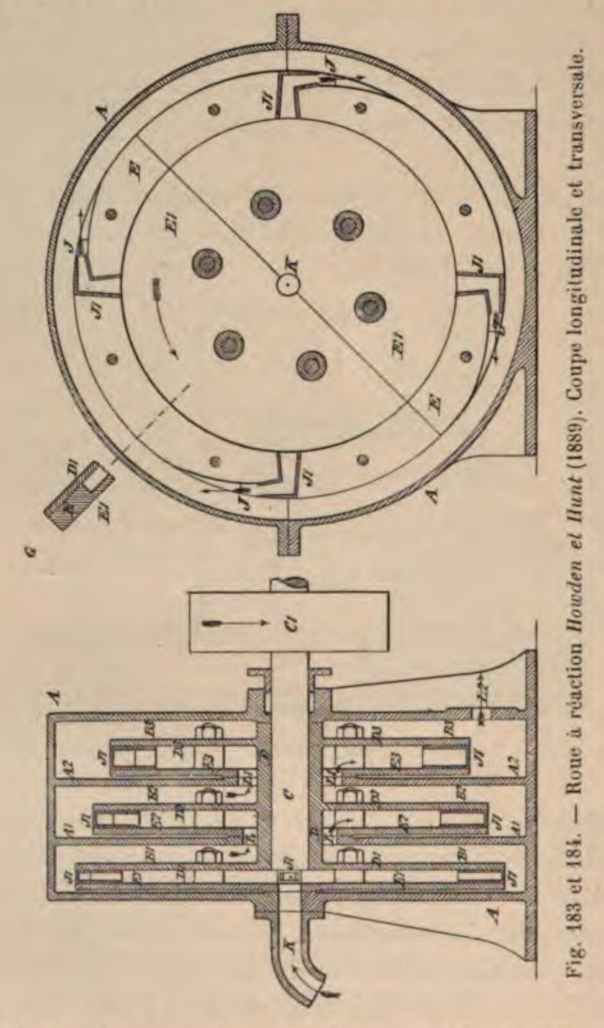


Fig. 183 et 184. — Roue à réaction *Howden et Hunt* (1889). Coupe longitudinale et transversale.

dans une boîte A, partagée en trois compartiments B_1, B_2 et B_3 par les cloisons A_1 et A_2 (fig. 183 et 184).

Ces roues sont composées des disques $D_1 D_2 D_3$, calés sur l'arbre C et des plateaux E_1 E_2 et E_3, avec lesquels ils sont boulonnés. Entre ces deux disques sont fixés les bras J, J.

La vapeur, admise par K, pénètre dans l'intérieur de la première roue, et, en s'échappant par J, J lui communique un mouvement de rotation. Des premiers compartiments B_1 elle passe, par les ouvertures L, dans la seconde roue; du second compartiment B_2, par les ouvertures L_1, dans la troisième roue, et, de ce troisième compartiment, par l'ouverture L_2, s'échappe à l'air libre et au condenseur.

Farcot, 1889. — Dans une enveloppe conique *a* (fig. 185) il est monté sur un arbre *c* une roue *b* à cannelures hélicoïdales, dans laquelle le fluide moteur arrive du côté du grand diamètre de la base même du cône. Ces cannelures à grandes sections initiales diminuent successivement à mesure que l'on avance vers le sommet du cône. Avant d'arriver sur le petit cercle, chaque cannelure se plie sur elle-même de manière à constituer pour l'écoulement du fluide un orifice final de sortie de très faible section relativement à l'orifice d'entrée et qui est dirigé en sens inverse de la rotation.

X est la tubulure d'arrivée du fluide moteur;

Y celle de la sortie.

La puissance de la roue est due principalement à la grande variation de section des cannelures.

Dans un conduit de section variable, dit l'inventeur, un fluide a d'autant moins de pression latérale qu'il a plus de vitesse, et réciproquement.

En vertu de ce principe, la pression, dans chaque cannelure, sera, à l'entrée, celle du générateur; la vitesse d'écoulement étant relativement très faible, cette pression diminuera progressivement à mesure que, la section se rétrécissant, la vitesse augmentera.

C'est cette pression du fluide qui, prenant un point d'appui sur l'enveloppe conique et agissant sur les flancs inclinés des cannelures hélicoïdales, fait tourner la roue.

On obtient ainsi une roue motrice à pression considérable et en même temps à faible dépense de vapeur, la grande vitesse d'écoulement à l'échappement n'ayant lieu qu'à la sortie extrême, et par orifices de section relativement très réduite.

Cette vitesse sera d'ailleurs d'autant moindre que le fluide aura

transmis à la roue, dans les cannelures, une plus grande somme de travail moteur.

On voit ainsi que, la sortie s'effectuant par la petite base du cône, l'importance des fuites périphériques entre la roue et son enveloppe se trouvera réduite au minimum.

Pour que le travail produit par la réaction de l'échappement soit maximum, il faut que le diamètre du cercle de sortie soit le plus grand possible, c'est ce qui est obtenu par l'addition, sur la roue *b*, à son extrémité (fig. 186 et 187) d'un disque ou tambour

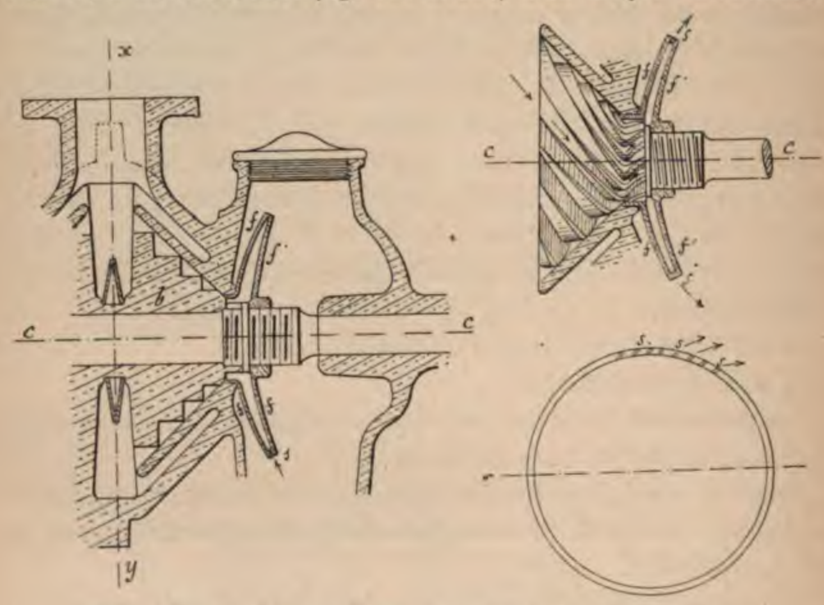


Fig. 185 à 187. — Moteur hélicoïdal *Farcot* (1889). — Coupes *cc xx*; détails de l'échappement.

creux *ff'* formé de deux plateaux *ff'*, serrés l'un sur l'autre et entre toisés à leur circonférence extrême par de petites aubes obliques curvilignes ou rectilignes S (fig. 187), au travers desquelles le fluide d'échappement s'écoule en produisant un travail utile de réaction d'autant plus grand que la pression et la vitesse d'échappement, le nombre de tours et le diamètre des disques *ff'*, sont plus considérables.

Le fluide moteur entre dans la roue *b* par la grande base du cône, en sort par la petite base en sens inverse de la rotation et

de sa direction d'entrée primitive, comme on le voit dans la figure 186 ; il se trouve alors précipité dans le disque ou tambour *ff'*, qui constitue ainsi une roue motrice auxiliaire à réaction distincte et complémentaire de la roue motrice principale à pression *b*.

L'appareil moteur ainsi réalisé peut être simple ou double par rapport à un axe de symétrie *xy*.

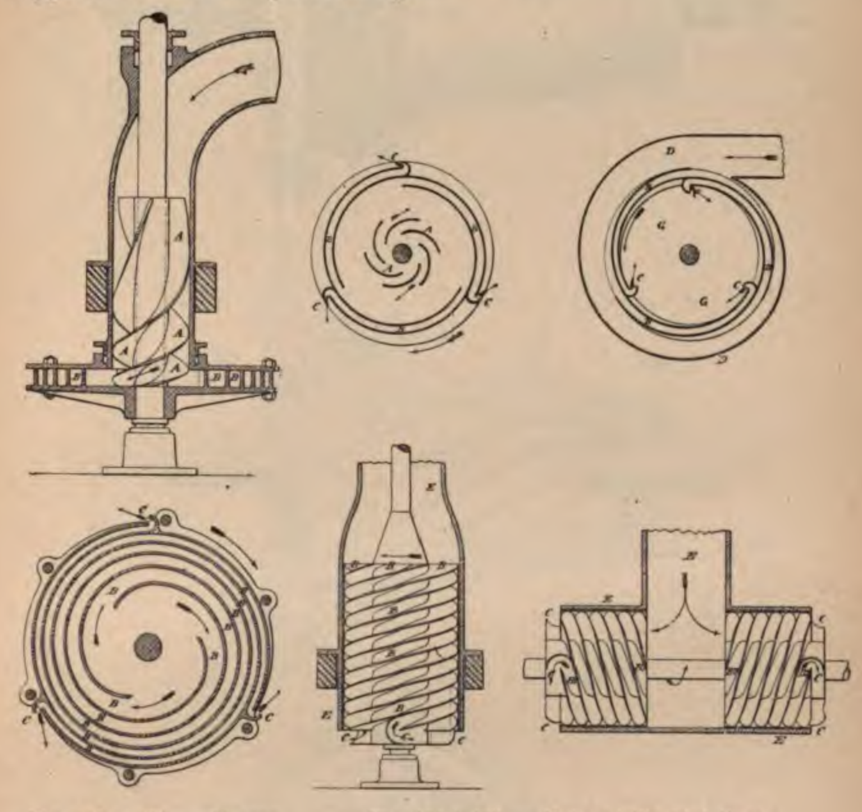


Fig. 188 et 189. — Moteur hélicoïdal *Hunt* (1889). Coupe verticale et plan.

Fig. 190 à 193. — Moteur hélicoïdal *Hunt*. Plans, coupes et élévation.

Hunt, 1889. — Dans ces appareils, le fluide, avant d'agir par réaction, agit par frottement. Après avoir produit son effet sur la partie hélicoïdale A (fig. 188) la vapeur suit un chemin spiroïdal dans la roue B (fig. 189) et s'échappe par les orifices de réaction *c*.

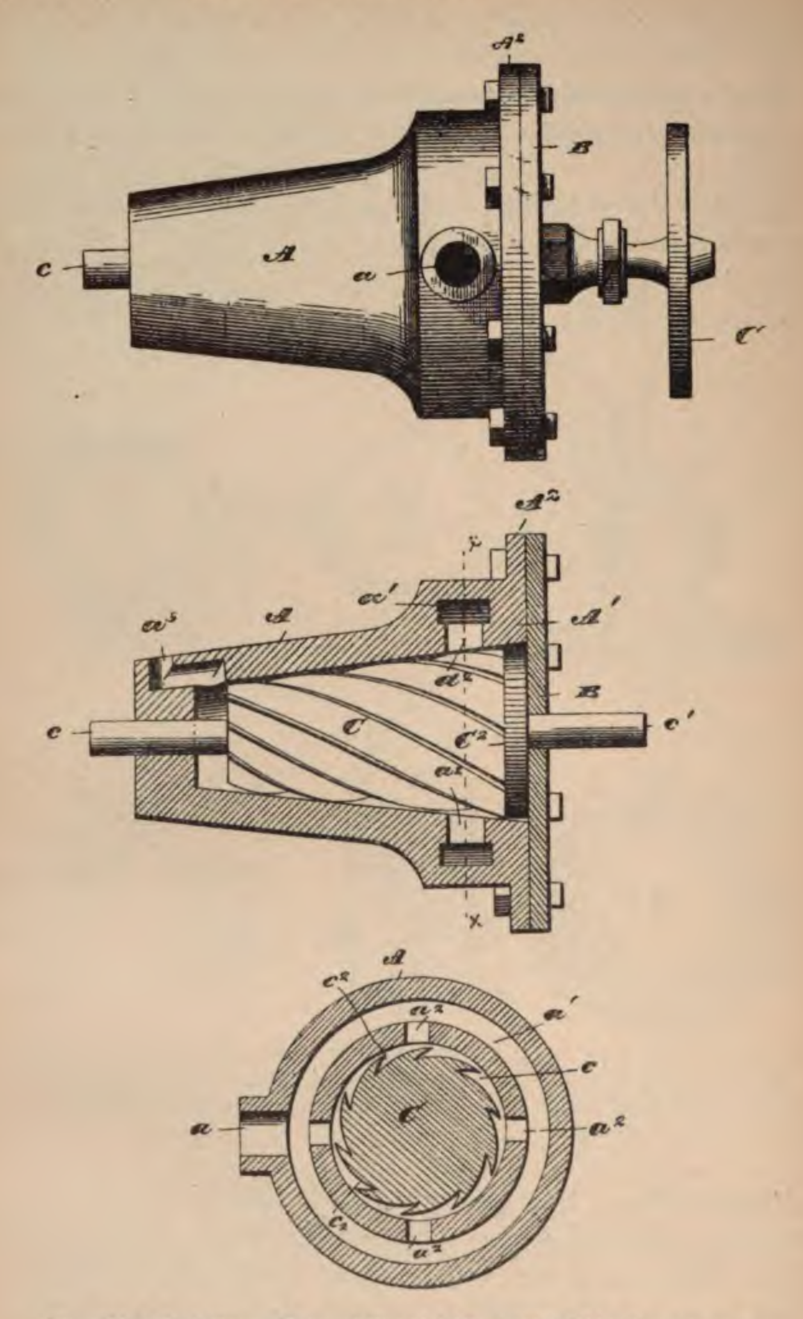


Fig. 194, 195 et 196. — Moteur hélicoïdal *West* (1889). Elévation, coupes horizontale et verticale *xx*.

Cette roue peut être conduite comme l'indiquent les figures 190 et 191.

Quant à la partie hélicoïdale, elle peut être disposée comme l'indique la figure 192 ou symétriquement de deux côtés de la tubulure d'arrivée de vapeur, comme l'indique la figure 193.

West, 1889. — Le cône C, monté sur l'arbre c, porte sur sa surface une série de rainures hélicoïdales c^2. Ce cône est enfermé dans une boîte A, où la vapeur pénètre par a, et après avoir passé par des ouvertures a^2 et produit son effet, s'échappe par a^3 (fig. 194 à 196).

TURBINE DE LAVAL, 1889 A 1904

Description de la turbine de Laval. — La turbine de Laval est analogue à une turbine d'Euler à axe horizontal, à introduction partielle et à libre écoulement. Celui-ci est, en effet, caractérisé



Fig. 197. — Vue en perspective de la roue à aubes et des conduites d'amenée de la vapeur d'une turbine de Laval.

par l'absence d'une surpression entre le distributeur et le récepteur.

Elle se compose d'une roue à aubes, sur laquelle la vapeur détendue à la pression de l'échappement est amenée par un ou plusieurs ajutages dont l'axe est faiblement incliné sur le plan de la roue.

Les jets de vapeur pénètrent dans le récepteur en glissant le long des aubes en vertu de la vitesse relative et en leur communiquant la force vive de la vapeur. Cette vapeur sort sur la face opposée du disque, avec une vitesse absolue que l'on cherche à rendre le plus faible possible par un tracé approprié des aubes.

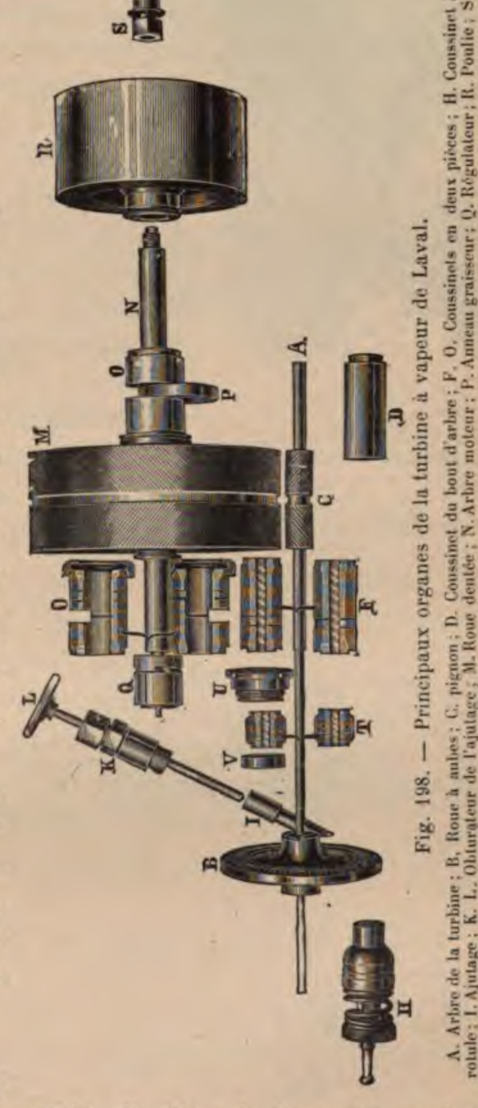


Fig. 198. — Principaux organes de la turbine à vapeur de Laval.

A. Arbre de la turbine ; B, Roue à aubes ; C. pignon ; D. Coussinet du bout d'arbre ; F, O. Coussinets en deux pièces ; H. Coussinet à rotule ; I. Ajutage ; K. L. Obturateur de l'ajutage ; M. Roue dentée ; N. Arbre moteur ; P. Anneau graisseur ; Q. Régulateur ; R. Poulie ; S. Contre-écrou ; T. Obturateur de vide.

Le corps de la turbine est monté sur un axe en acier qui repose sur deux coussinets à ses extrémités, et tout l'ensemble tourne dans une chambre dont une partie, vient de fonte avec un conduit de distribution de la vapeur et porte les ajutages en bronze destinés à détendre et à diriger le jet de vapeur, tandis que l'autre forme conduit d'échappement et comprend le palier de bout d'arbre.

Sur l'arbre principal, est placé le pignon en acier à double denture hélicoïdale, s'engrenant avec une roue dentée qui réduit la vitesse de la turbine dans le rapport voulu.

Principe de la turbine de Laval. — De Laval a eu l'idée d'utiliser *la force vive seule* de la vapeur.

Le *principe fondamental* de sa turbine est que la *vapeur* à haute

pression *arrive sur les aubes* de la roue réceptrice *entièrement détendue* ou plus exactement détendue à la pression de l'échappement. Cette détente s'effectue dans le trajet de la valve d'introduction à l'orifice du tube distributeur de vapeur. Dans ce trajet elle a acquis une force vive, due à sa propre détente, et qui est précisément égale au travail qu'elle aurait fourni en se détendant graduellement derrière un piston.

Cette force vive est alors transmise aux aubes de la roue, comme celle de l'eau dans une turbine hydraulique.

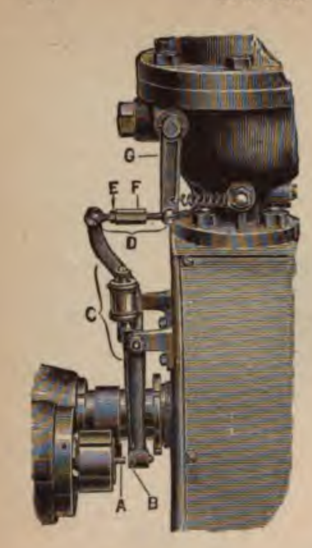


Fig. 199.

A. Tige du régulateur; B. Levier qui commande l'obturateur.

Fonctionnement de la turbine de Laval. — Comme nous l'avons déjà dit, *la force vive, seule*, de la vapeur est utilisée dans cette machine. Or, la densité du fluide détendu étant très

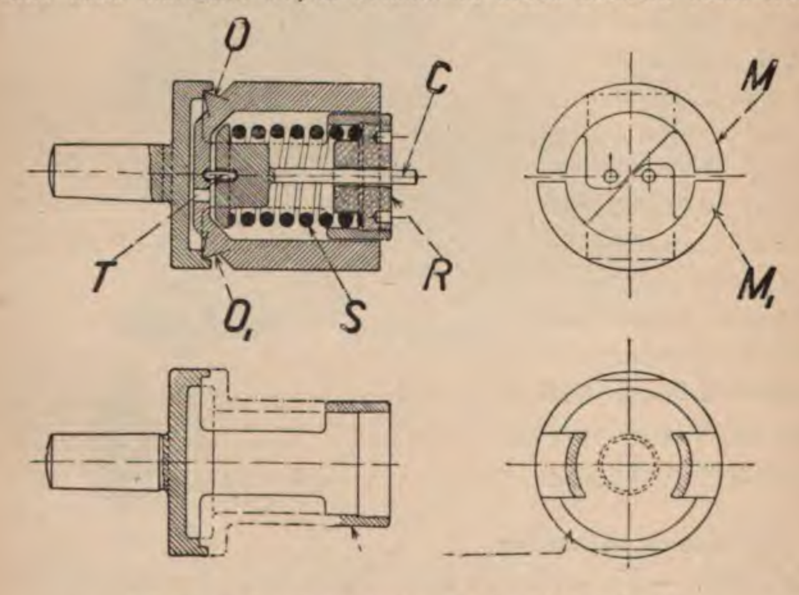


Fig. 200. — Détails du régulateur de la turbine de Laval.

MM. Segments semi-cylindriques; C. Tige du régulateur dont la tête repose sur les talons de segments MM par l'intermédiaire des pointes T; S. Ressort; R. Écrou.

faible, le principal facteur de cette force vive est *la vitesse.*

La vapeur, s'écoulant dans l'air sous pression par un orifice de petite section, prend des vitesses considérables qui peuvent varier de 600 à 1 200 mètres par seconde suivant les limites des pressions entre lesquelles la détente s'opère.

La vitesse de la vapeur à la sortie des conduits étant énorme, il en sera de même de la vitesse de rotation de la roue réceptrice,

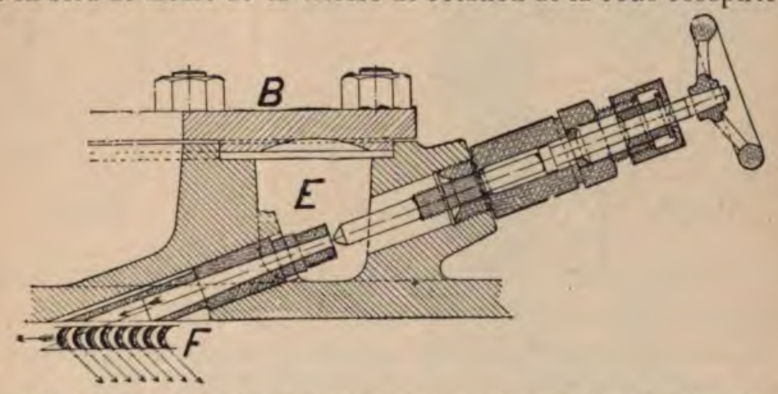


Fig. 201. — Coupe de la boîte de distribution de vapeur E et d'un ajutage.

laquelle tourne, suivant le type des machines, de 7 500 à 30 000 tours par minute, avec des vitesses périphériques variant entre 175 mètres et 400 mètres par seconde.

Un travail considérable pourra donc être transmis à l'arbre de

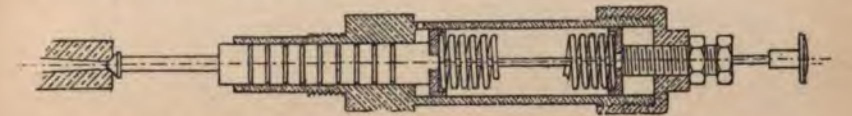


Fig. 202. — Ajutage automatiquement réglable de la turbine de Laval.

la roue avec des organes de dimensions extrêmement faibles. En effet, l'effort tangentiel est insignifiant; sur une circonférence de 7 centimètres de rayon à 400 tours par seconde, il ne dépasse pas 7 kilogrammes lorsque la machine produit sa puissance de 10 chevaux.

Pour une turbine de 10 chevaux, le disque n'a que 12 centimètres de diamètre pour une vitesse de 24 000 tours à la minute; il est de 30 centimètres pour une turbine de 100 chevaux tournant

à 15 000 tours, de 50 centimètres pour 200 chevaux à 9 000 tours et 70 centimètres pour 300 chevaux à 7 500 tours. Avec un disque de 1 mètre de diamètre à 6 000 tours on peut produire une puissance de 600 chevaux. L'arbre d'une machine de 10 chevaux n'a

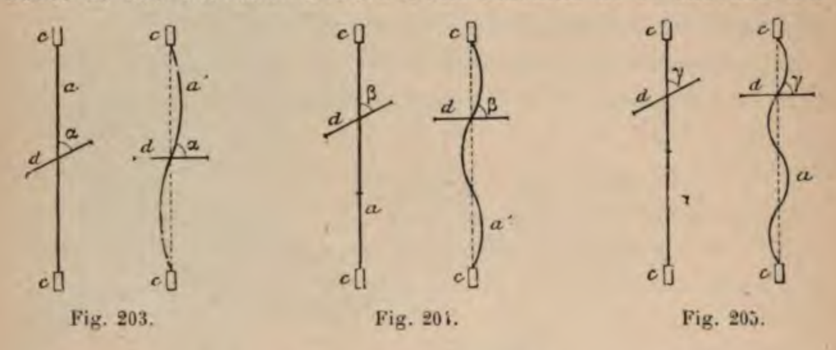


Fig. 203. Fig. 204. Fig. 205.

que 5 millimètres dans l'endroit le plus faible et 30 millimètres pour une machine de 300 chevaux.

A l'extrémité de l'arbre secondaire se trouve le régulateur à force centrifuge, agissant par l'intermédiaire d'un levier sur la soupape d'admission.

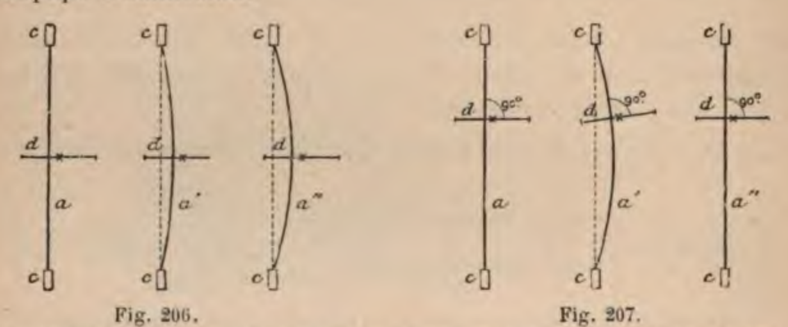


Fig. 206. Fig. 207.

a, l'arbre flexible au repos ; *a'*, l'arbre flexible en mouvement ; *a''*, l'arbre flexible à partir d'une certaine vitesse ; *d*, disque ; c, coussinet ; *x*, centre de gravité.

Le régulateur agit ainsi sur l'admission de la vapeur et assure une régularité parfaite à la machine, quelle que soit la charge.

En outre, la vapeur, au sortir de la valve d'admission, se répartit en plusieurs conduits, 4, 6, 8, etc., suivant les machines. Ces conduits ou ajutages peuvent être obturés par des valves à la main ou d'une façon automatique, ce qui permet de réduire à la moitié, au tiers, au quart, etc., la puissance maxima de la machine.

On comprend que, par ce moyen, le réglage de la puissance se fasse dans d'excellentes conditions, puisque chaque ajutage fonctionne pratiquement, d'une manière indépendante.

Il en résulte qu'une machine donnée ne consomme pas beau-

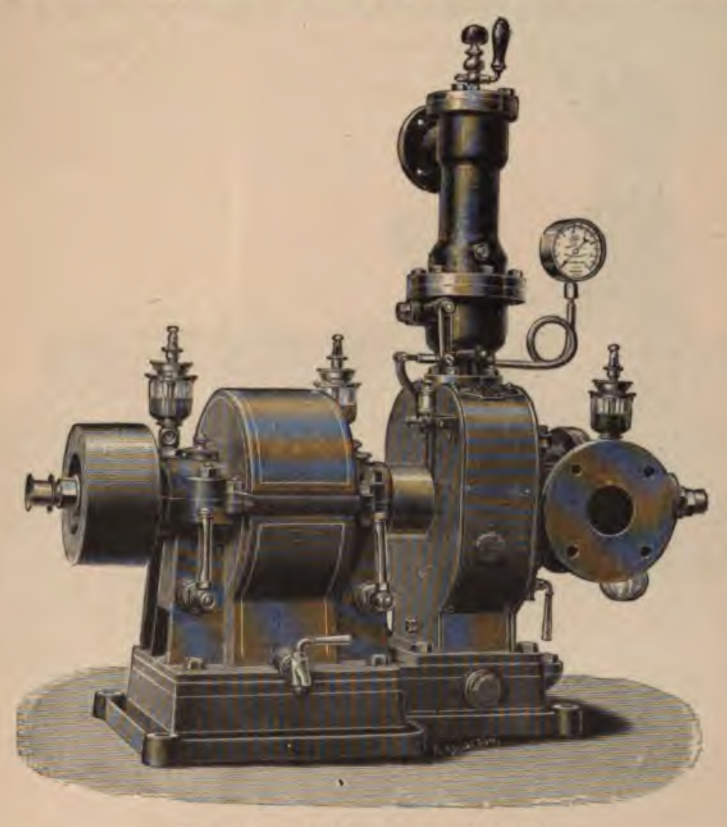


Fig. 208. — Turbine-moteur de Laval.

coup plus de vapeur par cheval, à moitié, ou à un quart de charge qu'à pleine puissance.

Arbre flexible. — Avec ces vitesses considérables, on pouvait craindre de très graves inconvénients à cause de la force centrifuge.

Il est facile de démontrer en se servant de la formule connue :

$$F = m\,\omega^2\,r$$

que 1 gramme, placé à la périphérie d'un disque de 16 centimètres de diamètre, tournant à 24 000 tours par minute, est sollicité par une force centrifuge égale à 50 kilogrammes. D'un autre côté, le centrage parfait de la roue est presque impossible. Quelque précaution que l'on prenne dans la fabrication et souvent à cause

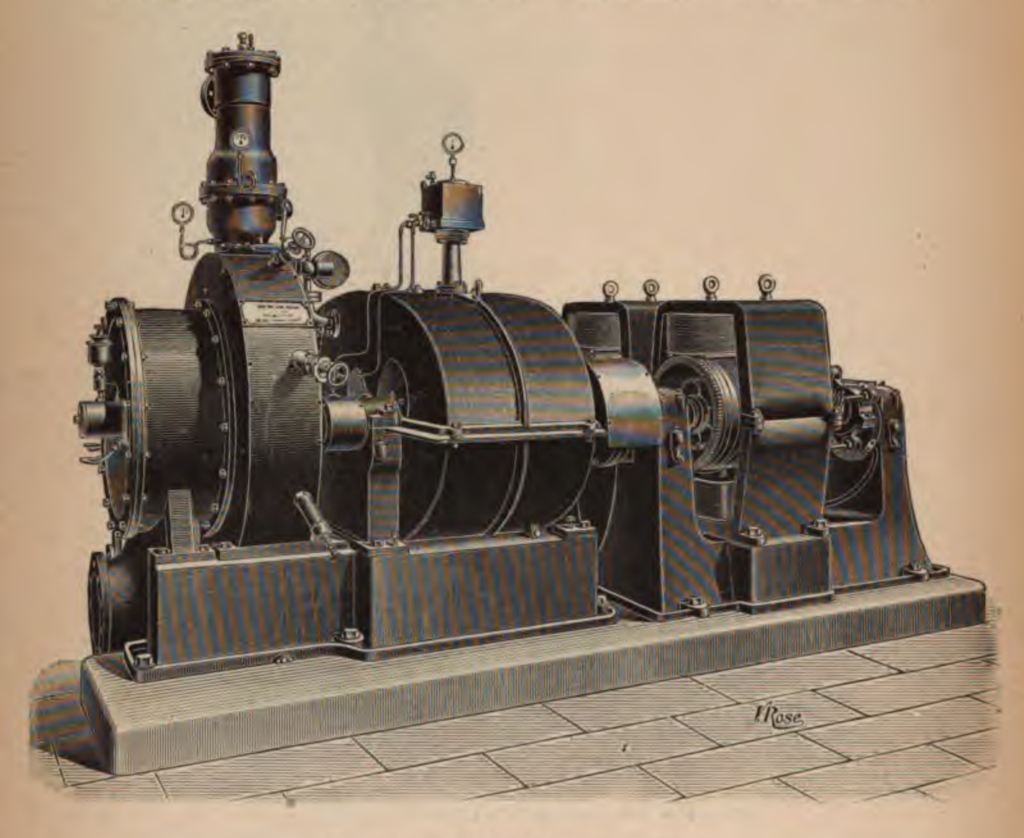


Fig. 209. — Turbine dynamo de Laval.

des défauts de la matière, il est impossible d'obtenir que son centre de gravité vienne coïncider avec l'axe géométrique de l'arbre et que son plan de symétrie lui soit perpendiculaire. Avec des arbres rigides, il aurait pu se produire, de ce chef, des échauffements dans les coussinets et même la rupture de l'arbre. M. de Laval a résolu cette difficulté d'une façon fort ingénieuse et avec le plus grand succès, en utilisant les propriétés gyrostatiques des corps

et montant sa roue *d'une certaine façon*, sur un arbre très mince et par suite, *flexible*.

Si l'on fait tourner un corps qui a un plan de symétrie autour d'un axe maintenu à ses extrémités et passant par son centre de gravité, ce corps tendra, à mesure que la vitesse augmente, à tourner autour de son axe principal d'inertie qui est la ligne perpendiculaire au plan et passant par le centre de gravité. L'axe physique étant flexible se déformera de la quantité nécessaire pour lui permettre cette orientation comme l'indique la figure 203.

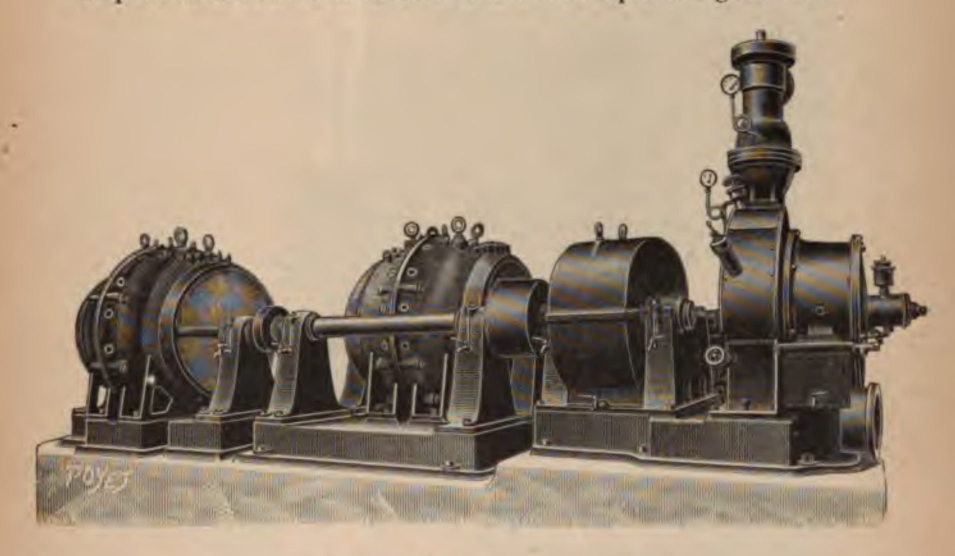


Fig. 210. — Turbine-alternateur de Laval.

La position du disque que, pour plus de simplicité, nous avons pris comme exemple, n'a pas d'influence. Ce disque peut être au milieu de l'axe (fig. 203), à un tiers (fig. 204) ou un quart (fig. 205) de distance d'un de ses points fixes ; le phénomène se reproduira de la même façon. Le mouvement de l'arbre vibratoire seul changera.

Si l'on fait tourner, au contraire, ce disque autour d'un arbre flexible perpendiculaire à son plan de symétrie, mais ne passant pas par le centre de gravité, il y aura deux cas différents :

1° Le disque étant placé au milieu de l'axe, entre ses deux points fixes, le centre de gravité tendra à s'en éloigner d'autant plus que la vitesse sera plus grande (fig. 206, $a' a''$).

2° Si le disque ne se trouve pas au milieu de l'arbre, celui-ci commencera par fléchir ; mais alors le plan de symétrie du disque se trouvant incliné par rapport à l'axe géométrique, le disque tendra, à mesure que la vitesse augmentera, à se placer perpendiculairement à cet axe et à ramener, par conséquent, l'arbre dans la ligne des paliers supposés rigides (fig. 207, $a' \, a''$).

On verra donc le curieux phénomène suivant. L'arbre flexible avec disque excentrique monté à une certaine distance entre les

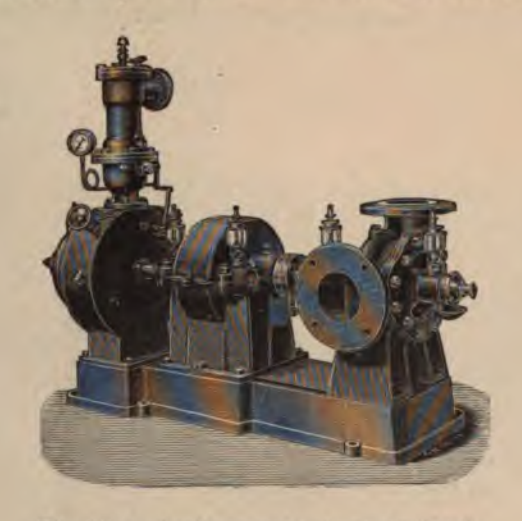


Fig. 211. — Turbine-pompe simple de Laval.

paliers, mis en mouvement, commence par fléchir très visiblement en décrivant un arc, et finit par se redresser spontanément à partir d'une certaine vitesse. Les frottements, qui ont eu lieu au début dans les coussinets, en opposant une résistance sensible à la rotation, disparaissent en même temps ; les vibrations transmises à la masse sont insignifiantes.

Applications et avantages. — La turbine de Laval peut remplacer les moteurs à vapeur ordinaires dans toutes leurs applications.

Elle est employée comme :

Moteur, pour la commande des transmissions par courroie ou par câbles (fig. 208).

Turbine-dynamo ou *turbine-alternateur*, en vue de la production de l'énergie électrique sous ses formes les plus variées, aussi bien

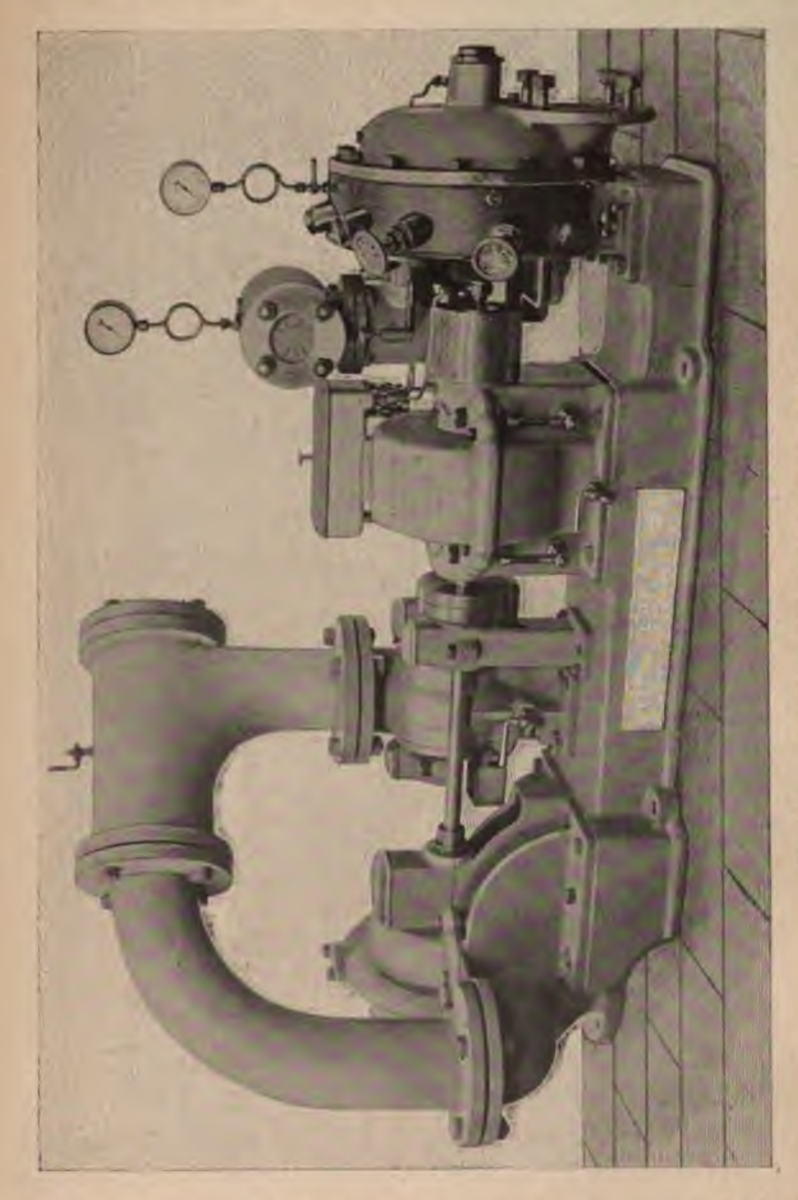


Fig. 212. — Turbine-pompe à haute pression de Laval.

pour l'éclairage, l'électrolyse, que pour le transport de force (fig. 209 et 210).

Turbine-pompe, pour les épuisements et élévations d'eau, comme pompe à incendie, etc... (fig. 211 et 212).

Turbine-ventilateur, pour l'aérage, pour le soufflage des feux de forge et cubilots, etc. (fig. 213).

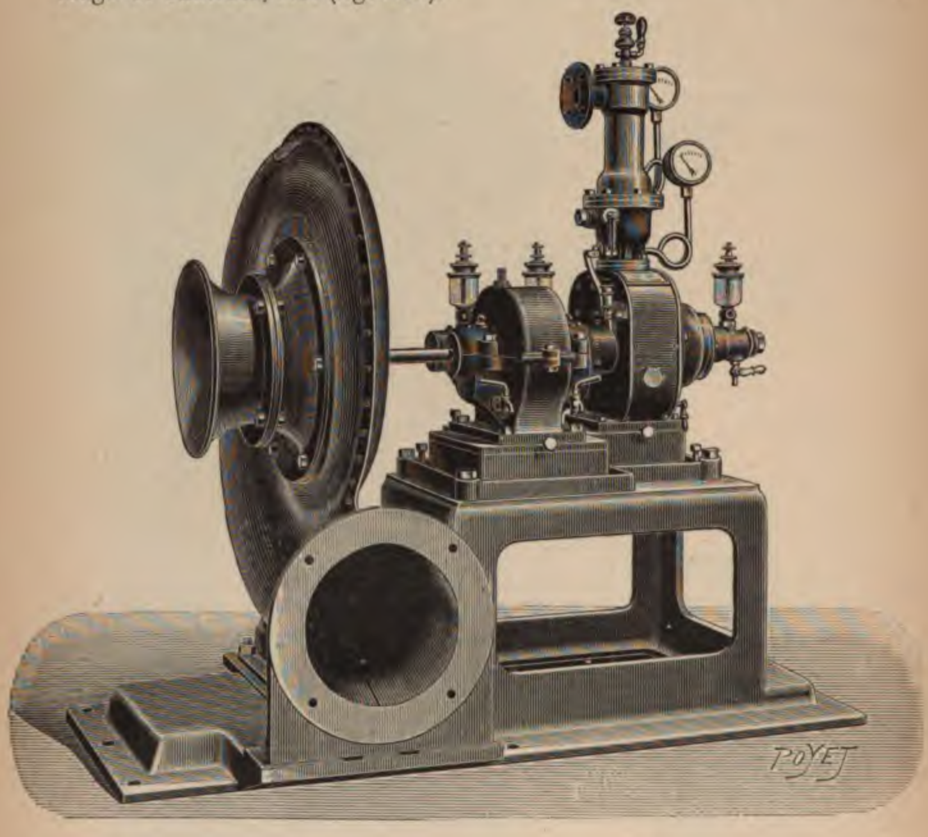


Fig. 213. — Turbine-ventilateur de Laval.

1° Dans toute machine rotative travaillant à grande vitesse, l'usure des pièces soumises à frottement amène rapidement du jeu entre ces pièces. L'étanchéité étant, pour toutes ces machines, une condition absolue d'économie et cette étanchéité disparaissant rapidement, la consommation de vapeur, qui, au début, reste quelquefois inférieure à 30 ou 40 kilos par cheval, atteint très rapidement des chiffres énormes.

Dans la turbine de Laval, au contraire, la force vive de la

vapeur agissant seule, et non sa pression, *il y a* toujours, par construction, entre la roue et son enveloppe, *un jeu* de 2 à 5 millimètres. Aucune pièce n'est donc soumise à des frottements, et *la consommation reste constamment la même, quel que soit le temps de fonctionnement de l'appareil.*

2° Par principe, la vapeur a la même pression sur les deux faces de la roue. Elle suit donc tout naturellement le chemin que lui offrent les canaux des aubes, si celles-ci ont bien le profil convenable et le passage direct à l'échappement est évidemment nul, aussi bien au commencement qu'après un temps quelconque de fonctionnement.

On vérifie bien cette propriété dans la pratique. Il suffit, en effet, d'ouvrir un des purgeurs de la boîte du moteur, côté échappement, pour constater que cette vapeur sort sans vitesse, et c'est là la raison pour laquelle, comme nous venons de le dire, on peut laisser entre la roue et la boîte-enveloppe un jeu très appréciable qui supprime tout frottement sur la périphérie de la roue.

3° Les condensations dans la machine sont négligeables, quelle que soit la pression de la vapeur utilisée.

En effet, la vapeur est ramenée par son passage dans les conduits à la pression d'échappement au moment où elle arrive en contact avec la roue. La vapeur à haute pression, et par suite à température élevée, ne se trouve donc jamais en contact avec cette roue qui n'a pas à subir, comme les cylindres des machines à piston, des alternatives de haute et basse température, cause essentielle des condensations.

Les conduits peuvent d'ailleurs être mis entièrement à l'abri de l'action refroidissante de l'air, et c'est là le cas de la turbine de Laval, où ils sont absolument noyés dans des épaisseurs relativement considérables de matières.

4° L'utilisation de la vapeur est poussée à sa limite, puisqu'elle passe, dans les conduits, de la pression de la chaudière à la pression de l'atmosphère extérieure. Il en résulte, pour cette machine, une consommation égale à celle des meilleures machines à vapeur, comme le prouvent d'ailleurs les nombreux essais effectués dans les circonstances les plus variées.

5° La turbine de Laval ne contient plus, comme seul organe en mouvement, qu'une roue tournant dans la chambre à vapeur et un réducteur de vitesse.

Plus de piston, de bielle, de coussinets de tête et de pied de bielle, plus de tiroirs ; plus d'excentriques, comme on peut le voir sur les figures précédentes.

6° Son *encombrement* et son *poids* sont très faibles. Son *installation* est des plus simples. Sa *mise en marche* et son *arrêt* sont d'une aisance parfaite et ne consistent qu'en une simple manœuvre

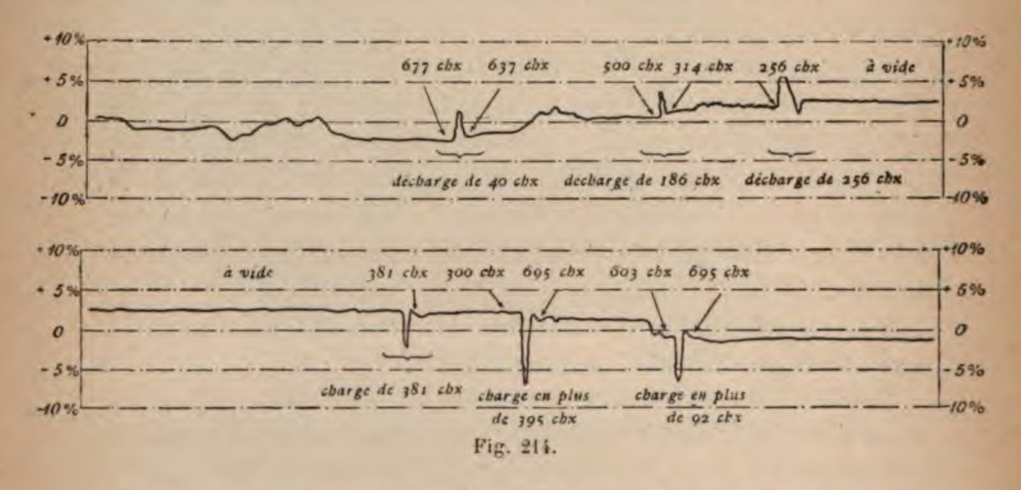


Fig. 214.

des valves de vapeur et d'eau, de même que sa *conduite* et sa *surveillance* se bornent au remplissage et au maintien en bon état de fonctionnement des graisseurs.

7° Sa *régularité de marche* est particulièrement remarquable. Il n'y a guère que les moteurs à triple expansion qui puissent lui être comparés, comme on peut le voir sur les diagrammes de vitesse pris au moyen du tachographe à enregistrement automatique de Horn que nous donnons ci-après. (La distance entre les deux lignes horizontales voisines représente une variation de vitesse de 5 p. 100.)

a. Variations de vitesse observées aux essais de réception d'une *machine à vapeur à triple expansion*, accouplée directement à une dynamo à courant continu pour l'éclairage électrique (fig. 214 et 215).

Charge normale : 500 *chevaux*. Vitesse normale : 100 *tours* par minute.

b. Variations de vitesse observées dans une *machine à vapeur*

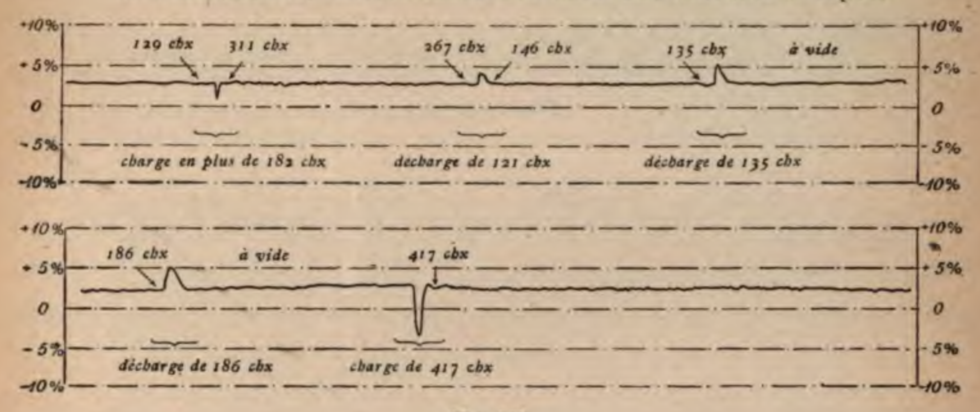


Fig. 215.

à condensation compound avec manivelles à 90°, actionnant une filature de coton et un atelier de tissage (fig. 216).

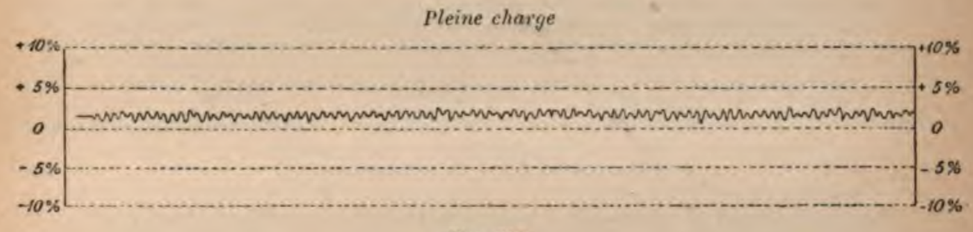


Fig. 216.

Charge constante de 350 *chevaux*. Vitesse normale 60 *tours* par minute.

c. Variations de vitesse observées dans un *moteur à gaz* à deux volants actionnant par courroie une dynamo pour l'éclairage électrique (fig. 217).

Charge constante de 35 *chevaux*. Vitesse normale : 175 *tours* par minute.

d. Variations de vitesse observées dans une *turbine-dynamo à vapeur, système de Laval*, sans condensation (fig. 218).

Charge normale : 135 *chevaux électriques*. Vitesse normale : 1 050 *tours* par minute.

e. Variations de vitesse observées dans une *turbine-motrice à vapeur, système de Laval*, avec condensation (fig. 219).

Charge normale : 100 *chevaux effectifs*. Vitesse normale : 1.050 tours par minute.

8° Son *rendement* ne varie pas avec le temps. L'usure des aubes,

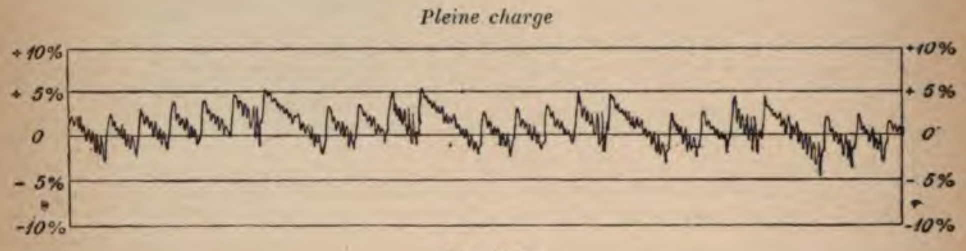


Fig. 217.

qui peut se produire à la longue, ou dans des conditions anormales, n'a qu'une influence insignifiante sur le rendement, comme le prouvent les essais exécutés sur deux turbines de même puis-

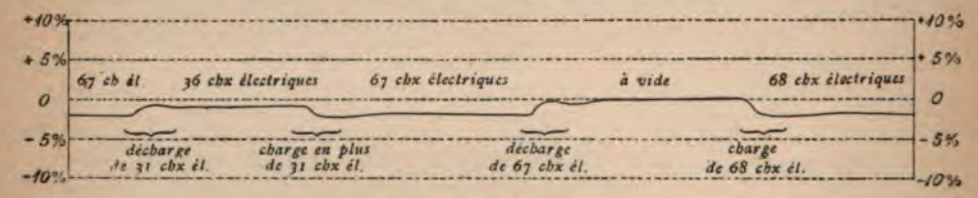


Fig. 218.

sance, l'une avec le disque à aubes fortement usées qui avait marché pendant cinq ans, l'autre avec un disque complètement neuf. (Essais faits par le personnel des Usines de Saint-Jacques, à

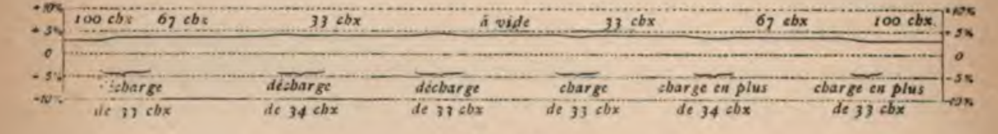


Fig. 219.

Montluçon, appartenant à la Société de Châtillon-Commentry.)

La consommation, dans le premier cas, a été de 10 k. 067 et dans le second de 9 k. 702 par cheval effectif heure. La pression était la même dans les deux cas et le vide plus élevé dans le

second cas ; par conséquent, si on avait pu maintenir le vide égal dans les deux cas, il n'y aurait pour ainsi dire pas eu d'augmentation de consommation du fait de l'usure des aubes.

9° Son *rendement à charges variables* est meilleur que celui des moteurs à piston, comme on le voit sur le diagramme ci-après représentant la comparaison entre une turbine Laval et une Corliss compound à condensation (fig. 220).

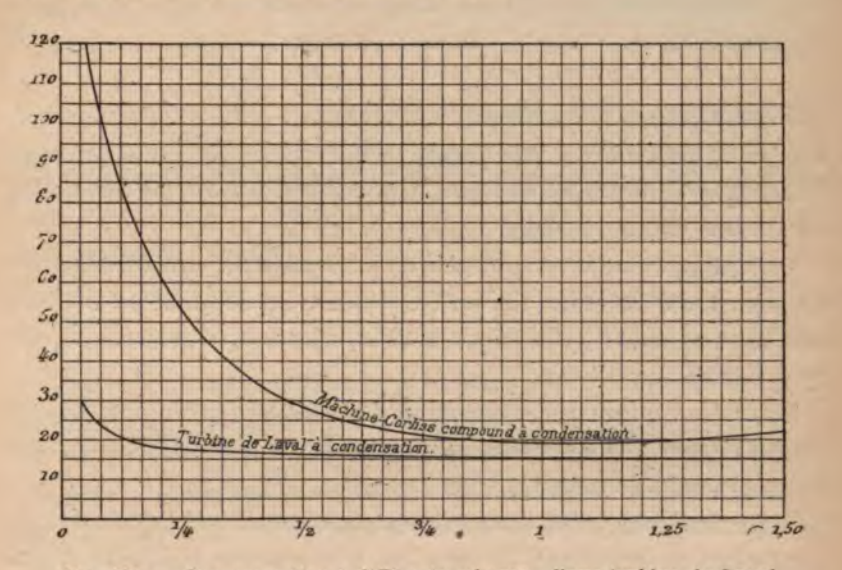


Fig. 220. — Consommation à différentes charges d'une turbine de Laval en comparaison avec une machine Corliss.

Les charges sont portées en abscisses et les consommations en livres anglaises par cheval effectif en ordonnées.

10° Sa *consommation d'huile* est très réduite. Un groupe électrogène de 300 chevaux turbine et dynamo, consomme pratiquement à peine 750 grammes par heure ; ce qui représente, à raison de de 36 francs les 100 kilos d'huile spéciale employée pour le graissage des turbines, une dépense d'environ 0cm 1 par cheval-heure.

11° Son *entretien* est des plus réduit et sa *solidité* est tout à fait remarquable même dans des conditions de marche particulièrement difficiles et avec un service ininterrompu de jour et de nuit.

THÉORIE DE LA TURBINE DE LAVAL

La théorie de la turbine de Laval s'établit de la même manière que celle de la turbine d'Euler à libre déviation, au moins en ce qui concerne le récepteur (roue à aubes). Dans la détermination des distributeurs (ajutages), il faut faire entrer en ligne de compte les propriétés spéciales des fluides élastiques.

Détermination des ajutages distributeurs. — La vapeur saturée sort de la chaudière à une pression déterminée et s'échappe dans l'atmosphère, ou un condenseur, à pression également déterminée, en passant par un ajutage.

Cet ajutage doit avoir, du côté de la chaudière, une forme telle qu'elle épouse la veine fluide. On y arrive en donnant au conduit une forme d'abord cylindrique avec un raccordement conique jusqu'à la section minima.

La section minima, où le produit de la vitesse par la densité est un maximum, est déterminée par la condition qu'elle laisse passer le poids voulu de vapeur.

A partir de ce point les sections transversales de l'ajutage doivent aller en croissant de manière à permettre au fluide de se détendre en s'accélérant.

L'ajutage doit se terminer au point où le fluide, ayant pris la vitesse maximum dont il est susceptible, a sensiblement la même pression que le milieu ambiant.

Il ne faut pas qu'il y ait entre le distributeur et le récepteur une différence de pression.

Si l'ajutage est trop court, la vapeur ne sera pas complètement détendue en arrivant sur les aubes du récepteur, il y aura excès de pression, d'où des fuites de vapeur entre l'ajutage et la roue à aubes, et une perte d'énergie, la vapeur continuant à s'accélérer dans les aubes, d'où tendance à sortir avec une trop grande vitesse.

Si, au contraire, l'ajutage était trop long, la pression tendrait à baisser au-dessous de celle du second milieu, ce qui donnerait lieu à des mouvements tourbillonnaires accompagnés d'un réchauffe-

ment de la vapeur (revaporisation de la vapeur condensée ou surchauffe), en sorte qu'on n'utiliserait qu'une partie de la force vive.

La détermination exacte des dimensions de l'ajutage influe donc d'une manière essentielle sur le résultat à obtenir.

D'une manière générale la vitesse d'un fluide élastique s'écoulant librement d'un milieu dans un autre, sans recevoir ni perdre de chaleur (écoulement adiabatique) est donné par la formule de Weisbach qu'on peut écrire :

$$\frac{\omega^2}{2g} = \mathrm{U} \tag{1}$$

U étant le travail gagné par l'unité de poids du fluide en se détendant.

Ce travail est égal à :

$$-\int_{p_1}^{p_2} v dp$$

où v est le volume spécifique et p la pression (p_1 — pression de la chaudière, p_2 — celle de l'air libre ou du condenseur).

Dans le cas des gaz parfaits on arrive à la solution, en fonction des pressions ou des températures, en introduisant la loi de la détente adiabatique :

$$pv^k = p_1 v_1{}^k \tag{2}$$

On trouve ainsi la formule dite de Weisbach, indiquée par Wantzel et de Saint-Venant en 1839 [1].

$$\frac{\omega^2}{2g} = \frac{k.c}{\mathrm{A}} \mathrm{T}_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \tag{3}$$

où c est la chaleur spécifique à volume constant.

k — le rapport des chaleurs spécifiques à pression constante et à volume constant.

A — l'équivalent calorifique du travail $\left(\mathrm{A} = \frac{1}{425}\right)$

[1] *Mémoires et expériences sur l'écoulement de l'air.* (Journal de l'Ecole Polytechnique, XVIIIe cahier.

T_1 — la température absolue d'amont.

p_1 — la pression du milieu d'amont.

p_2 — la pression du milieu d'aval.

Etant donné que

$$p_1 v_1 = RT_1$$

et

$$c(k-1) = AR$$

nous avons

$$\frac{\omega^2}{2g} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \qquad (3a)$$

Le cas des vapeurs est plus complexe, parce qu'on ne connaît pas de loi équivalente à (2).

D'après Rankine la courbe adiabatique de la vapeur d'eau saturée est représentée par la formule approximative

$$pv^\mu = p_1 v_1^\mu \qquad (4)$$

dans laquelle p_1 indique la pression initiale

v_1 — le volume initial de la vapeur d'eau saturée

et μ — une grandeur constante qu'il évaluait à 1.111, mais que d'autres ont évalué différemment (Schmidt — 1.410, Grashof — 1.140, Zeuner — 1.135), et qui varie d'ailleurs avec la quantité de vapeur initiale x_1.

On pourrait ainsi trouver la vitesse d'écoulement de la vapeur par la formule (3) en substituant à l'exposant k, l'exposant μ dont les valeurs rentrent dans la formule

$$\mu = 1{,}035 + 0{,}100\, x_1$$

soit :

$$\omega = \sqrt{2g \frac{\mu}{\mu-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\mu-1}{\mu}} \right]} \qquad (5)$$

Partant de la formule (1) Zeuner a donné l'expression exacte de la vitesse d'écoulement de la vapeur

$$A \frac{\omega^2}{2g} = \frac{x_1 r_1}{T_1} (T_1 - T_2) + (q_1 - q_2) - T_2 (\tau_1 - \tau_2) + A\sigma (p_1 - p_2) \qquad (6)$$

où ω désigne la vitesse d'écoulement de la vapeur.

x_1 — le titre initial de la vapeur.

r_1 — la chaleur de vaporisation de l'eau à la température T_1.
T_1 et T_2 — les températures absolues d'amont et d'aval.
q_1 et q_2 — les chaleurs du kilogramme d'eau aux températures T_1 et T_2.
τ_1 et τ_2 — les entropies correspondantes du kilogramme d'eau.
σ — le volume spécifique de l'eau.

Cette expression est la même que celle du travail maximum qu'un kilogramme de vapeur peut développer dans une machine à cylindre.

Zeuner constate que par l'écoulement la vapeur gagne à l'état

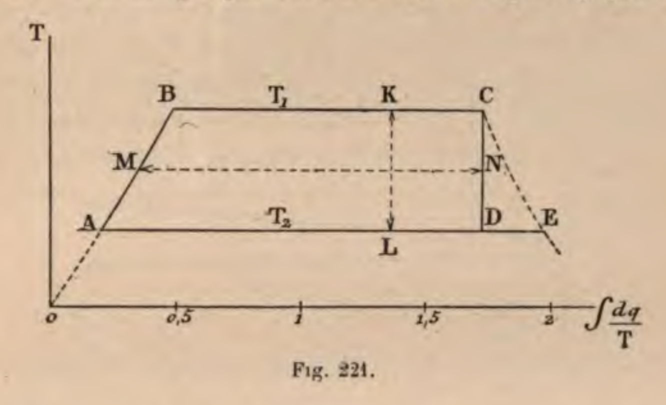


Fig. 221.

de force vive exactement le même travail que celui qu'on peut gagner à l'aide de la machine à cylindres dans les circonstances les plus favorables.

Si l'on supprime dans l'expression (6) le terme $A\sigma\ (p_1 - p_2)$ qui est toujours négligeable, on arrive à la formule qui correspond au diagramme entropique du cycle de Rankine-Clausius

$$U = \frac{1}{A}\left[\frac{r_1}{T_1}\ (T_1 - T_2) + \int_{T_2}^{T_1} \frac{dq}{T}\ (T_1 - T_2)\right] \tag{7}$$

Le vitesse d'écoulement de la vapeur peut se calculer soit par les formules plus haut, soit par le diagramme entropique (fig. 221) avec l'entropie $\int \frac{dq}{T}$ en abscisse et la température absolue T en ordonnée. AB est la courbe d'entropie de l'eau et CE celle de la

vapeur saturée. AE et BC sont les isothermes des températures T_2 et T_1. CD est la ligne isentropique qui correspond à la détente adiabatique du fluide.

L'aire ABCD représente l'énergie mécanique développée par un kilogramme de vapeur saturée fonctionnant dans une machine parfaite entre la pression p_1 et p_2, les températures correspondantes étant T_1 et T_2.

Quand la chute de température $T_1 - T_2$ est faible, on peut admettre approximativement pour l'aire de ABCD, l'expression simple $KL \times MN$, MN étant la moyenne de deux bases AD et BC et alors

$$\omega^2 = \frac{1}{A} 2g \, KL \times MN \tag{8}$$

Pour déterminer les sections transversales d'un ajutage, il suffit de connaître les vitesses et volumes spécifiques correspondants aux pressions qui y règnent.

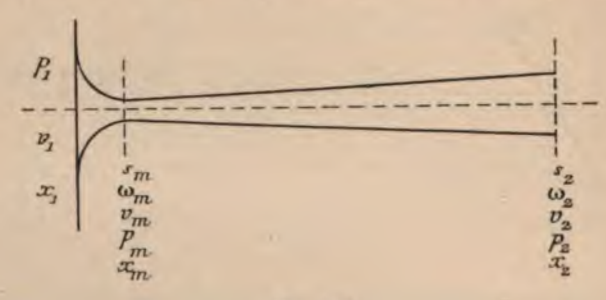


Fig. 222.

La section transversale s de l'ajutage à un endroit quelconque est liée à la vitesse d'écoulement ω, et au débit en poids I par la formule suivante :

$$I = \frac{s\omega}{v} \tag{9}$$

où v est le volume spécifique.

Etant donné que le même poids de vapeur passe, en unité de temps, par les différentes sections de l'ajutage, on a :

$$I = \frac{s_m \omega_m}{v_m} = \frac{s_2 \omega_2}{v_2} \tag{10}$$

s_m étant la section la plus rétrécie, section du col de l'ajutage.

s_2 — section finale ou de sortie, qui est la section maxima.

ω_m, ω_2 et v_m, v_2 — vitesses et volumes spécifiques correspondants.

Connaissant I, ainsi que v_2 et ω_2 qu'on déterminera par les moyens plus haut donnés en fonction de la pression adoptée, on peut calculer la section finale s_2.

Il s'agit ensuite de déterminer la section minima s_m, où a lieu l'étranglement de la veine.

C'est la section pour laquelle $\frac{\omega_m}{v_m}$ est un maximum.

Cette question a été étudiée d'une manière complète par le capitaine Hugoniot dans le cas des gaz. Hugoniot a montré que la pression dans la section contractée était parfaitement déterminée et que de plus la vitesse correspondante était celle du son pour les conditions spéciales de densité et de pression.

Il a montré que la section est minimum pour :

$$p_m = \frac{2^{\frac{k}{k-1}}}{k+1}\, p_1 \qquad (11)$$

En remplaçant dans cette formule la valeur k par la valeur de de μ, nous trouvons pour la vapeur d'eau :

$$p_m = 0{,}58\, p_1 \qquad (12)$$

Connaissant la pression dans la section contractée, et, par conséquent, la vitesse et le volume spécifique correspondant, nous pouvons calculer cette section s_m.

La vitesse dans la section contractée a pour l'expression

$$\omega_m = \sqrt{2g\, \frac{\mu}{\mu-1}\, p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_m}{p_1}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}\right]} \qquad (13)$$

En y substituant la valeur de p_m de l'équation (4), on obtient

$$\omega_m = \sqrt{2g\, \frac{\mu}{\mu+1}\, p_1 v_1} \qquad (13a)$$

En admettant $x_1 = 1$ et par conséquent $\mu = 1.135$, on a

$$\omega_m = 323 \sqrt{p_1 v_1} \tag{13b}$$

Or, d'après la formule empirique de Zeuner donnant le poids spécifique de la vapeur en fonction de la pression, on a

$$p_1 v_1 = 17\,022\, p_1^{0,0607}$$

ce qui donne pour

$$\omega_m = 421,4\; p_1^{0,0303} \tag{13c}$$

p_1 étant exprimé en kilogrammes par centimètre carré.

En effectuant le calcul, on trouve que la vitesse dans la section contractée est pratiquement constante, comme cela est indiqué par Hugoniot.

En effet, alors qu'elle dépasse un peu 440 mètres pour une pression de 5 kilos, elle ne dépasse pas beaucoup 450 mètres pour une pression de 12 kilos.

Pour l'expression du débit dans la section contractée, Grashof a donné la formule :

$$I = 15,26\; p^{0,9696} \text{ (1)} \tag{14}$$

I étant le débit de vapeur en grammes par seconde et par centimètre carré

p — la pression initiale en atmosphères.

Le débit en kilogrammes par heure et par millimètre carré de section aura pour formule :

$$I = 0,532\; p_1^{0,9696} \tag{15}$$

p_1 étant exprimé en kilogrammes par centimètre carré.

Le tableau I donne les débits pratiquement constatés de vapeur sèche en kilogrammes par heure et par millimètre carré de section contractée, et fonction des pressions d'amont exprimées en kilogrammes par centimètres carrés.

[1] *Theoretische Machinenlehre*, t. I, § 111 à 113.

TABLEAU I

p_1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	1,08	1,13	1,18	1,22	1,29	1,34	1,39	1,44	1,49	1,54
2	1,59	1,64	1,69	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00	2,05
3	2,10	2,15	2,20	2,25	2,30	2,35	2,40	2,46	2,51	2,56
4	2,61	2,66	2,71	2,76	2,81	2,86	2,91	2,96	3,01	3,06
5	3,11	3,16	3,21	3,26	3,31	3,36	3,41	3,46	3,51	3,56
6	3,61	3,66	3,71	3,76	3,81	3,86	3,91	3,96	4,01	4,06
7	4,11	4,16	4,21	4,26	4,31	4,36	4,41	4,46	4,51	4,56
8	4,61	4,66	4,71	4,76	4,81	4,85	4,90	4,95	5,00	5,05
9	5,10	5,15	5,20	5,25	5,30	5,35	5,40	5,44	5,49	5,54
10	5,59	5,64	5,69	5,74	5,79	5,84	5,89	5,93	5,98	6,03
11	6,08	6,13	6,18	6,23	6,28	6,32	6,37	6,42	6,47	6,52
12	6,57	6,62	6,66	6,70	6,76	6,81	6,86	6,91	6,95	7,00

Le titre de la vapeur x_2 à la sortie de l'ajutage se détermine en fonction du titre initial x_1 et des pressions d'amont et d'aval, par la formule :

$$\frac{x_2}{x_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\mu - n}{n\mu}} \qquad (16)$$

où n est égal à $\frac{33}{31}$
Soit, pour $x_1 = 0$

$$x_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,0186}$$

Le titre dans la section contractée a pour expression :

$$x_m = x_1 \left(\frac{2}{\mu + 1}\right)^{\frac{\mu - n}{n(\mu - 1)}} = 0,9685\ x_1 \qquad (17)$$

Le rapport de sections est égal à :

$$\frac{s_2}{s_m} = \sqrt{\frac{\frac{(\mu - 1)}{(\mu + 1)}\left(\frac{2}{\mu + 1}\right)^{\frac{2}{\mu - 1}}}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{\mu}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\mu + 1}{\mu}}}} = \frac{0,155}{\sqrt{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{\mu}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\mu + 1}{\mu}}}} \qquad (18)$$

Le rapport de vitesses :

$$\frac{\omega_2}{\omega_m}=\sqrt{\frac{2g\,\frac{\mu}{\mu-1}\,p_1v_1\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}\right]}{2g\,\frac{\mu}{\mu+1}\,p_1v_1}}=3,3768\sqrt{1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\mu-1}{\mu}}} \quad (19)$$

Cederblom a dressé des tables très complètes des vitesses et des poids de vapeur passant par heure et par millimètre carré de différentes sections de l'ajutage, pour les pressions initiales de 1 à 12 kilos et toutes les contrepressions jusqu'à 0.1, ainsi que pour la vapeur entièrement sèche d'une part et ayant 30 $_0/^0$ d'humidité, d'autre part (1).

Le tableau II en est extrait pour les pressions initiales de 5 et 10 kilos.

TABLEAU II

p_2	$p_1=5$				$p_1=10$			
	I		ω		I		ω	
	$x_1=1$	$x_1=0,7$	$x_1=1$	$x_1=0,7$	$x_1=1$	$x_1=0,7$	$x_1=1$	$x_1=0,7$
0,1	0,3261	0,3673	1089,5	932,1	0,3674	0,4079	1184,0	1,019,7
0,2	0,5619	0,6374	1005,9	858,2	0,6438	0,7193	1110,5	953,7
0,4	0,9421	1,0766	907,6	771,4	1,1062	1,2454	1025,6	878,0
0,6	1,2522	1,4394	840,9	713,3	1,5013	1,6985	969,4	828,2
0,8	1,5157	1,7494	788,1	667,8	1,8528	2.1042	955,7	789,7
1,0	1,7418	2,0172	743,2	629,0	2,1703	2.4724	889,4	757,7
2,0	2,4742	2,8992	572,3	482,3	3,4203	3,9394	758,4	643,4
2,9	2,6752	3,1572	446,2	375,1	—	—	—	—
4,0	2,2914	2,7233	288,3	241,8	4,8523	5,6635	582,7	493,0
5,8	—	—	—	—	5,2447	6.1710	455,6	383,4
7,0	—	—	—	—	5,0459	5,9663	371,8	312,4
9,0	—	—	—	—	3,4328	4,0854	203,1	170,2

Zeuner donne les rapports des vitesses, sections et diamètres d'un ajutage dans le tableau ci-après :

1 J.-E. Cederblom. Tabeller ofver mattad vattenanga, 1889.

TABLEAU III

$\frac{p_1}{p_2}$	$\frac{\omega_2}{\omega_m}$	$\frac{s_2}{s_m}$	$\frac{d_2}{d_m}$	x_2
100	2,583	13,802	3,715	0,765
90	2,560	12,690	3,562	0,769
80	2,535	11,555	3,399	0,775
70	2,505	10,395	3,224	0,781
60	2,469	9,163	3,027	0,788
50	2,426	7,980	2,825	0,796
20	2,177	3,966	1,991	0,840
10	1,924	2,436	1,561	0,874
8	1,861	2,069	1,438	0,886
6	1,742	1,716	1,310	0,901
4	1,550	1,349	1,161	0,922
2	1,119	1,015	1,007	0,960
1,7318	1	1	1	0,968

Détermination de la roue réceptrice. — Pour obtenir le maximum de rendement d'une turbine axiale à libre déviation, on doit remplir les conditions suivantes :

L'angle d'inclinaison de l'ajutage distributeur avec la roue réceptrice doit être aussi faible que possible.

L'aube de la roue réceptrice doit avoir la direction de la vitesse relative à l'entrée pour éviter les chocs.

L'angle d'inclinaison des aubes à la sortie doit être le même qu'à l'entrée.

La vitesse absolue à la sortie doit être la moindre possible.

Construisons les parallélogrammes des vitesses à l'entrée et à la sortie d'une aube réceptrice (fig. 223).

Soit α — l'angle d'inclinaison des aubes distributrices.

α_1 — l'angle de la vitesse absolue à la sortie avec la roue réceptrice.

β — l'angle des aubes réceptrices tant à l'entrée qu'à la sortie.

v_1 — la vitesse circonférentielle de la roue.

c_1 — la vitesse relative à l'entrée de l'aube.

c_2 — la vitesse relative à la sortie de l'aube.

ω — la vitesse absolue de la vapeur à l'entrée.

ω' — la vitesse absolue de la vapeur à la sortie.

Si nous considérons les vitesses relatives à l'entrée et à la sortie comme égales, la perte résultant du frottement du fluide dans

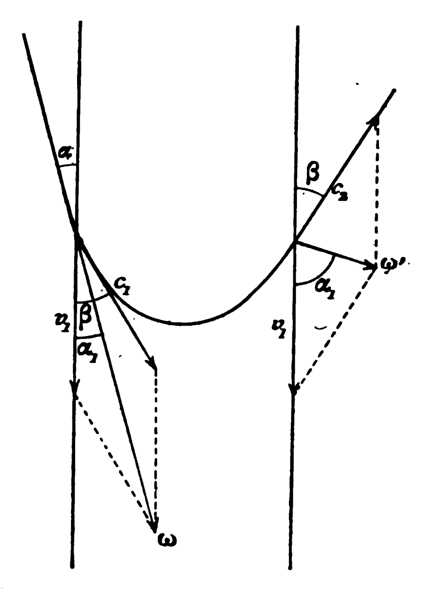


Fig. 223.

une aube très courte étant une quantité négligeable par rapport à ces vitesses qui sont d'un ordre très élevé, nous avons

$$\omega \cos \alpha = v_1 + c_1 \cos \beta \qquad (a)$$
$$\omega \sin \alpha = c_1 \sin \beta \qquad (b)$$
$$\omega' \cos \alpha_1 = v_1 - c_1 \cos \beta \qquad (c)$$
$$\omega' \sin \alpha_1 = c_1 \sin \beta \qquad (d)$$

Les équations (b) et (d) donnent

$$\omega' = \frac{\omega \sin \alpha}{\sin \alpha_1}$$

ω_1 sera minimum pour $\sin \alpha_1 = 1$, c'est-à-dire $\alpha_1 = 90°$

Avec cette valeur de α_1 nous aurons les expressions suivantes pour ω', v_1, c_1 et β.

$$\omega' = \omega \sin \alpha \qquad (20)$$

Les équations (*a*) et (*c*) donnent la valeur de v_1

$$v_1 = \frac{\omega \cos \alpha}{2} \quad (21)$$

La différence de (*a*) et (*c*) d'une part et l'équation (*b*) de l'autre donnent

$$\text{tg}\, \beta = 2\, \text{tg}\, \alpha \quad (22)$$

En substituant dans l'équation (*b*) la valeur de sin β en fonction de la tangente, on obtient :

$$v_1 = \frac{\omega \sin \alpha \sqrt{1 + 4\, \text{tg}^2 \alpha}}{2\, \text{tg}\, \alpha} = \frac{\omega}{2} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \alpha} \quad (23)$$

Le travail total dont est capable l'unité de poids du fluide est

$$\frac{\omega^2}{2g} = U_t$$

La vitesse absolue à la sortie étant ω' et la seule perte d'effet utile étant due à la grandeur de cette vitesse, le travail utile théorique sera

$$\frac{\omega^2}{2g} - \frac{\omega'^2}{2g} = U_u$$

Le rendement théorique du distributeur sera

$$\eta_t = \frac{U_u}{U_t} = \frac{\omega^2 - \omega'^2}{\omega^2} = 1 - \frac{\omega'^2}{\omega^2}$$

$$\eta_t = 1 - \sin^2 \alpha \quad (24)$$

Le rendement est d'autant pus grand que α est plus petit.

Il serait maximum avec $\alpha = 0$ et avec la vitesse périphérique de la roue égale à la moitié de la vitesse d'arrivée de la vapeur.

En pratique on ne va guère au-dessous de 20°, ce qui correspond à un rendement de 88 p. 100 avec une vitesse périphérique un peu plus faible que la moitié de la vitesse d'arrivée.

Rendement. — La courbe ci-dessous (fig. 224) nous donne des rendements *théoriques* en fonction de la vitesse périphérique du disque pour une même vitesse ω de la vapeur.

Ce rendement, pour $\omega = 1\,000$ *m* par seconde, serait de 45 p. 100 à la vitesse périphérique du disque de 155 *m* par seconde; ils

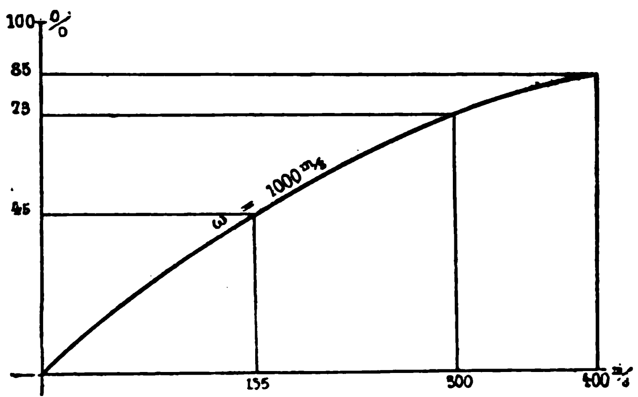


Fig. 224. — Courbe des rendements théoriques de la turbine *de Laval* en fonction des vitesses périphériques *v* du disque, portées en abscisses, pour une même vitesse de la vapeur $\omega = 1000^m$ par seconde.

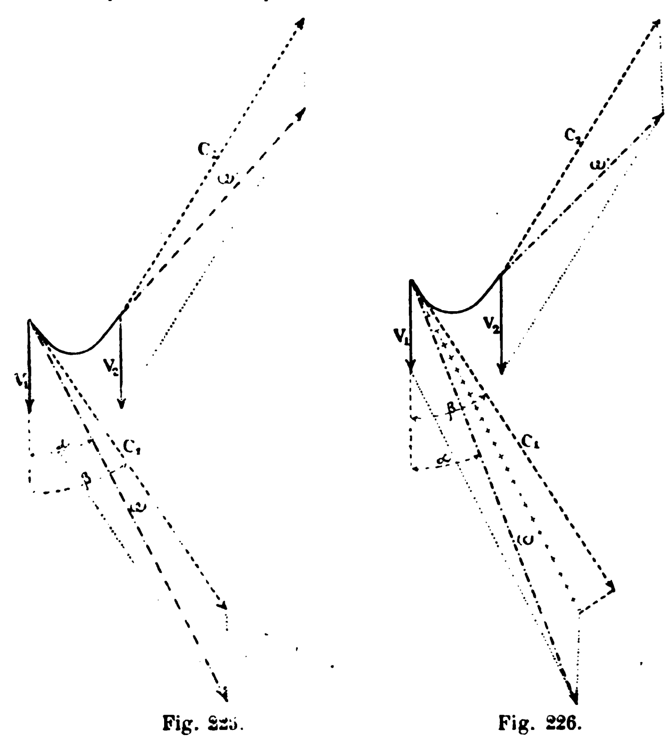


Fig. 225. Fig. 226.

s'élèverait à 73 p. 100 à 300 mètres et 85 p. 100 à 400 mètres par seconde.

Le tracé type des vitesses (fig. 225) subira en pratique des modifications.

Les considérations d'exécution des aubes ne permettront pas

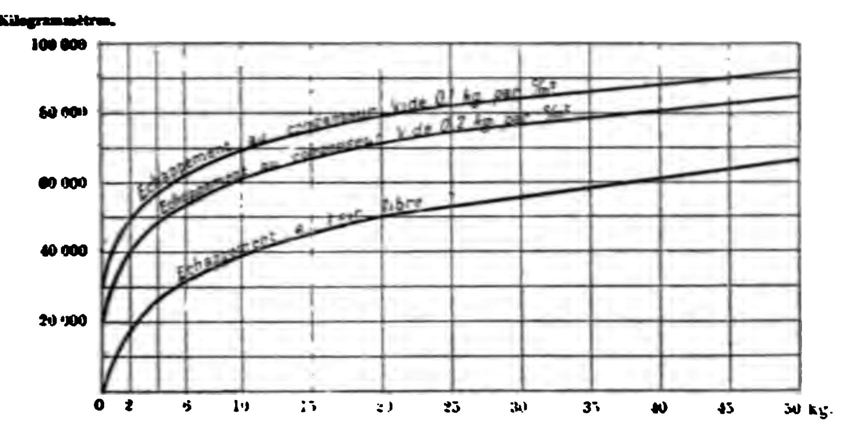


Fig. 227. — Courbes de la puissance théorique d'un kilogramme de vapeur à diverses pressions effectives de 1 à 50 kilogrammes par centimètre carré.

d'éviter complètement les chocs. La vitesse relative à l'entrée (fig. 226) sera déviée de sa direction normale par l'aube pour

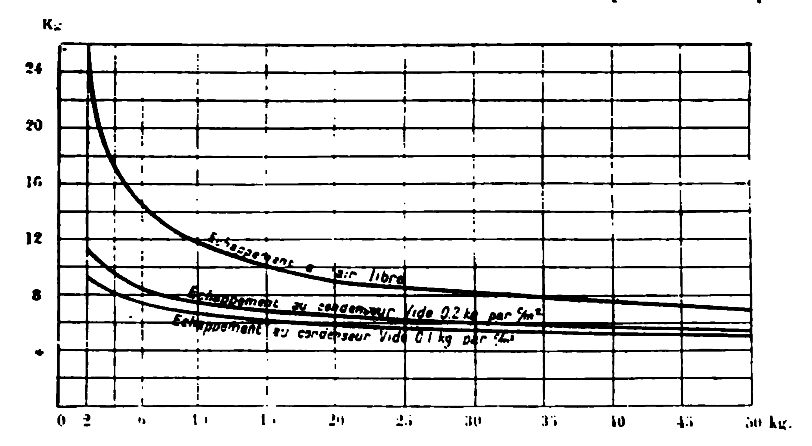


Fig. 228. — Courbes de la consommation réelle de vapeur par cheval effectif et par heure en fonction des pressions d'admission et d'échappement.

suivre une nouvelle direction c^1. La vitesse relative à la sortie sera de ce fait inférieure à la vitesse relative à l'entrée.

Les courbes ci-dessus (fig. 227) donnent la puissance théorique

d'un kilogramme de vapeur à diverses pressions effectives, suivant la marche avec ou sans condensation. Nous voyons qu'elle est de 40 000 kgm par kilogramme de vapeur pour 10 kg de pression d'admission et la marche à échappement libre, qu'elle dépasse 60 000 kgm pour la même pression d'admission et l'échappement au condenseur, le vide étant de 0,2 kg par centimètre carré et qu'elle atteint 70 000 kgm à 0,1 kg de vide par centimètre carré.

Cette puissance atteindrait 93 000 kgm par kilogramme de vapeur à la pression de 50 kg et échappement au condenseur, dont le vide serait de 0,1 par centimètre carré.

La figure 228 nous donne la consommation de vapeur par cheval effectif et par heure en fonction de la pression d'admission et celle de l'échappement. Ces courbes sont tracées en admettant un rendement pratique facilement réalisable de 60 p. 100.

Consommation. — Nous donnons ci-après l'extrait de quelques procès-verbaux d'essais de consommation exécutés sur les turbines de Laval.

Essais effectués par M. Aimé Witz, professeur à la Faculté des Sciences de Lille sur une turbine de Laval de 200 *chevaux de MM. Crépy fils et Cie, filateurs, à Lille.* — « La vapeur fournie par un générateur Belleville était desséchée par des appareils séparateurs, et je relevais sa pression en amont de la boîte de distribution par un manomètre ; un autre manomètre mesurait le vide dans la boîte d'échappement. La turbine actionnait deux dynamos Breguet accouplées directement, dont le travail électrique était déterminé par des ampèremètre et voltmètre soigneusement contrôlés. La consommation, proportionnelle au nombre des ajutages ouverts, étaient fonction de la pression de la vapeur ; un essai préalable avait établi la variation du débit avec la pression.

« J'ai adopté pour coefficient de rendement des dynamos les valeurs données par la Maison Bréguet, de 0,88 au delà de 130 kilowatts ; 0,885 à 130 ; 0,876 à 104 et 0,85 à 65 kilowatts, toutes pertes comprises jusqu'au tableau.

Voici les résultats obtenus à pleine charge de la turbine :

Volts	227,23
Ampères	557,5
Kilowatts	126,680
Chevaux effectifs	194,48
Nombre d'ajutages ouverts	6
Pression de la vapeur	$7^{kg},368$
Vide au condenseur	64 centimètres
Débit de la vapeur par heure	$1452^{kg},18$
Consommation par cheval-heure effectif	$7^{kg},47$
Nombre de tours	900

« La turbine a très bien marché dans ces conditions ; sa consommation répond exactement au minimum garanti.

« Les essais suivants avaient pour objet d'étudier le fonctionnement de l'appareil sous des charges différentes.

TRAVAIL	VOLTS	AMPÈRES	KILOWATTS	CHEVAUX effectifs.	AJUTAGES	PRESSION de vapeur.	VIDE	DÉBIT par heure.	NOMBRE de tours.	CONSOMMATION par cheval-heure effectif.
						kg.	cm.	kg.		kg.
En surcharge.	232,4	684	158,961	245.53	7	7,817	63	1 781	900	7,26
Aux $^5/_6$ . . .	208,8	531,7	111,019	172.20	5	7,730	65	1 260	900	7,31
A $^2/_3$ de charge.	217.8	436,7	95,126	148,56	4	8,350	66	1 076	903	7,25
A $^1/_2$ charge .	230.5	274.7	63,318	101,21	3	7.650	67	748	904	7.39

« Il ressort de ces chiffres que la consommation n'augmente pas quand la charge diminue.

« Plusieurs essais de vitesse ont été effectués ; en déchargeant successivement la turbine de 130 kilowatts à zéro, la vitesse a passé de 900 à 930 tours ; la variation est de 3 p. 100, en déchargeant de tout à rien.

« En somme, cette turbine a un excellent fonctionnement à tous égards, et je suis convaincu qu'elle vous donnera satisfaction. »

Lille, ce 13 octobre 1902.

AIMÉ WITZ.

Essais effectués sur une turbine de 300 chevaux installée dans la papeterie de MM. Ignace Spiro et fils, à Krummau.

PRESSION d'admission en kilos par cent. carré.	TEMPÉRATURE de la vapeur en degrés centigrades.	VIDE en millimètres de colonne de mercure.	NOMBRE d'ajutages ouverts.	NOMBRE de tours des arbres moteurs.	PUISSANCE développée en chevaux effectifs.	CONSOMMATION de vapeur par cheval effectif.
8,6	190	68,5	7	750	297,8	7,05
8,55	190	69,1	6	760	252,6	7,12
8,6	190	69,8	5	753	214,3	7,00
8,5	188	70,1	4	750	165,0	7,27
8,5	187	70,9	3	762	120,5	7,47
8,5	187	71,5	2	762	74,5	8,05
8,5	188	71,7	1	762	30,8	9,75

Extrait du procès-verbal des essais exécutés à la station électrique de Vendam sur deux turbines-alternateurs triphasés de 300 chevaux.

PRESSION de la vapeur à l'admission en kilos par centimètre carré.	VIDE dans la boîte d'échappement de la turbine en centimètres de mercure.	NOMBRE d'ajutages ouverts.	NOMBRE de tours des deux arbres moteurs par minute.	PUISSANCE développée en kilowatts.	CONSOMMATION de vapeur par kilowatt-heure	
					vapeur contenant 5 p. 100 d'humidité.	vapeur sèche.
12,17	68,3	7	749	226,6	10,54	10,13
12,12	69,7	6	748	192,5	10,74	10,41
12,3	70,3	5	747,5	161,2	10,84	10,51
11,9	70	4	748,5	117,9	11,53	11,17
12,07	69,9	3	747,7	82,1	12,55	12,16
12,4	70,6	2	749	44,7	15,76	15,25

Essais effectués sur une turbine de 200 chevaux effectifs[1]. — Dans les essais effectués sur cette turbine, la vapeur était fournie par un générateur système Belleville. La pression en amont des ajutages, dans la boîte de distribution, et la pression en aval du disque, dans la boîte d'échappement, étaient mesurés à l'aide de manomètres étalons; la lecture de l'indicateur de vide subissant

[1] Etude général du rendement des nouvelles Turbines de Laval, par M. Delaporte (*Revue de mécanique*, mai 1902).

la correction, positive ou négative, de la hauteur barométrique du jour.

NUMÉROS des essais.	NOMBRE d'ajutages ouverts.	PRESSION d'amont.	VIDE en centimètres de mercure.	TRAVAIL effectif en chevaux.	CONSOMMATION brute par cheval-heure effectif.
		kilos			kilos
1	6	11,82	65,2	162,0	6,875
2	8	8,77	65,7	161,0	7,10
3	8	11,12	65,0	206,9	6,82
4	8	11,00	64,6	204,0	6,84
5	7	12,45	64,6	202,9	6,725
6	7	12,68	64,6	206,4	6,72
7	7	12,10	65,0	195,5	6,80
8	7	12,20	64,0	196,9	6,80
9	7	12,225	63,5	198,1	6,77
10	8	10,72	63,8	197,5	6,90

Le rendement des dynamos accouplées à la turbine avait été déterminé par une série d'essais préliminaires. Les voltmètres et ampèremètres qui ont servi aux mesures étaient des galvanomètres de d'Arsonval étalonnés par des balances de lord Kelvin.

Chaque essai enfin comportait une série de lectures faites lorsque chaque régime était bien établi; la moyenne de ces lectures donnait les chiffres de l'essai.

Essais effectués sur une turbine de Laval de 300 *chevaux effectifs à la manufacture de MM. Krusche et Ender, à Pabianice près Lodz.* — La turbine marchait à une pression d'admission de 13,5 kg en moyenne et à condensation. La vapeur était surchauffée à 234°.

La puissance de la turbine était mesurée au frein.

Le tableau ci-après donne les consommations de vapeur à différentes charges.

NOMBRE d'ajutages ouverts.	PUISSANCE développée en chevaux effectifs.	PRESSION d'admission en kilos par cent. carré.	TEMPÉRATURE de la vapeur en degrés centigrades.	VIDE en millimètres de colonne de mercure.	NOMBRE de tours des arbres moteurs.	CONSOMMATION de vapeur par cheval effectif.
						kg
7	307,8	13,55	234	693	772	6,33
5	219,9	13,8	227	700	767	6,44
3	123,3	13,4	219	707	777	6,68
2	78,2	13,8	199	713	775	7,72

La consommation était donc de 6,33 kg de vapeur par cheval effectif et par heure, à pleine charge.

Les essais exécutés dans cet établissement, en 1900, ont donné les résultats suivants :

Turbine de :

100 chevaux	7 kg de pression	sans surchauffe ;		consommation	9,80	par
100 —	15 —	avec —	60°	—	6,42	cheval
300 —	15 —	— —	60°	—	5,32	effectif

L'examen des courbes (fig. 228) donne l'idée de l'économie qu'on peut tirer des pressions et des vides élevés.

L'étude des résultats des expériences de MM. Lewicki et Hubler donne l'idée de ce que l'on peut attendre à ce point de vue de l'application de la **haute surchauffe**.

Ces résultats sont résumés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

Essai au frein à demi-charge et à pleine charge. Pression absolue de la vapeur à l'admission 7 *atmosphères, nombre de tours par minute* 2 000. *Marche sans condensation.*

	DEMI-CHARGE		PLEINE CHARGE	
	vapeur saturée.	vapeur surchauffée.	vapeur saturée.	vapeur surchauffée.
Température de la vapeur en degrés centigrades	164°	460°	164°	500°
Puissance au frein en chevaux	21,4	24,5	44,1	51,9
Consommation de vapeur par cheval heure en kgr.	21,6	14,1	17,7	11,5
Consommation de chaleur (contenue dans la vapeur) par cheval-heure en calories	14 160	11 270	11 610	9 390
Température de sortie de la vapeur en degrés centigrades	100	309	100	343
Chaleur à récupérer par cheval-heure en calories	—	1 415	—	1 340
Economie réalisée sur l'emploi de vapeur saturée par la récupération de la chaleur contenue dans la vapeur évacuée jusqu'au retour à l'état de saturation p. 100	—	30	—	31

Il ressort de l'examen de ces chiffres, qu'avec une surchauffe croissante, non seulement la consommation de vapeur, mais aussi celle de la chaleur diminue, alors que le travail au frein augmente. On peut conclure de ces résultats que le travail à vide est diminué par suite du faible frottement de la roue dans la vapeur de sortie surchauffée et qu'il y a accroissement d'énergie du jet, par unité de poids de vapeur. Cette énergie croît, comme on le sait, avec le carré de la vitesse du fluide, laquelle est proportionnelle à la quantité de vapeur passant par l'ajutage dans l'unité de temps. A cette augmentation de l'énergie du fluide correspond, il est vrai, un affaiblissement de l'effet dit hydraulique; celui-ci, pour une vitesse de vapeur croissante (dans le dernier essai du tableau, par exemple, la vitesse de la vapeur dans l'ajutage croît, suivant que la vapeur est saturée ou surchauffée, de 807 à 1 046 mètres par seconde), et pour une vitesse périphérique de la roue constante, doit diminuer par suite de l'accroissement de perte par choc. Cependant cette diminution de l'effet hydraulique n'est, comme le montrent les essais, que d'une importance secondaire, car, par suite de l'augmentation du choc d'entrée, la température de la vapeur dans la chambre de sortie se trouve relevée, et ce phénomène abaisse la résistance de la roue à vide et augmente en même temps l'effet mécanique. On voit que l'emploi d'une haute surchauffe produit une augmentation d'effet mécanique l'emportant sur la diminution de l'effet hydraulique. Qu'avec un choc à l'arrivée croissant, la température de sortie de la vapeur augmente réellement, c'est ce que montre la série suivante de recherches entreprises spécialement dans ce but.

TABLEAU V

Essais au frein à pression d'admission constante et charge croissante.

Nombre de tours par minute. . . .	2 354	1 790	1 182	601
Température moyenne d'entrée en degrés centigrades.	363	364	369	366
Température moyenne de sortie. . .	234	248	256	280

Ce tableau montre clairement que, à une vitesse de roue décroissante et à une vitesse d'admission de vapeur constante, la température de sortie de vapeur croît d'une façon très nette. Cet accroissement ne peut être dû qu'à une augmentation du choc contre les aubes de la roue. D'ailleurs la température de sortie de la vapeur, par suite du choc et vraisemblablement aussi pas suite du frottement contre les parois de l'ajutage, reste supérieure à la température finale correspondant à une détente adiabatique.

Le tableau ci-après fait ressortir la diminution de la résistance à vide, quand on emploie des surchauffes croissantes.

TABLEAU VI

Essai de marche à vide. Vitesse 2 000 tours par minute, correspondant à 20 000 de l'arbre de la roue.

LA ROUE DE LA TURBINE TOURNE	TRAVAIL TOTAL absorbé à vide par la turbine à la pression atmosphérique.	RÉSISTANCE DE LA ROUE	
		à la pression atmosphérique.	dans un vide de 0,36 atm.
	en chevaux.	en chevaux.	en chevaux.
Dans l'air (30°)	6,8	4,6	—
Dans la vapeur saturée	5,5	3,3	1,5
Dans la vapeur surchauffée à 123°	5,10	2,85	0,95
Dans la vapeur surchauffée à 184°	4,55	2,25	—
Dans la vapeur surchauffée à 244°	4,30	2,05	—
Dans la vapeur surchauffée à 300°	4,15	1,88	0,60

Il est ainsi établi nettement que la résistance de la roue dans la vapeur saturée est de 1,3 cheval plus faible que dans l'air atmosphérique et que cette résistance, avec de la vapeur de sortie surchauffée à 300 ° C., tombe de 3,3 chevaux à 1,88. Il est, en outre, un chiffre très remarquable, c'est celui de la résistance de la roue de 0,95 cheval dans le vide avec surchauffe de la vapeur qui prouve l'intérêt de la marche à condensation.

TURBINE DE LAVAL COMPOUND, 1894

Pour utiliser l'excès de vitesse absolue à sa sortie, on peut recourir à un dispositif dit *compound* ou à disques multiples, et qui consiste à faire diriger le fluide à sa sortie de la première

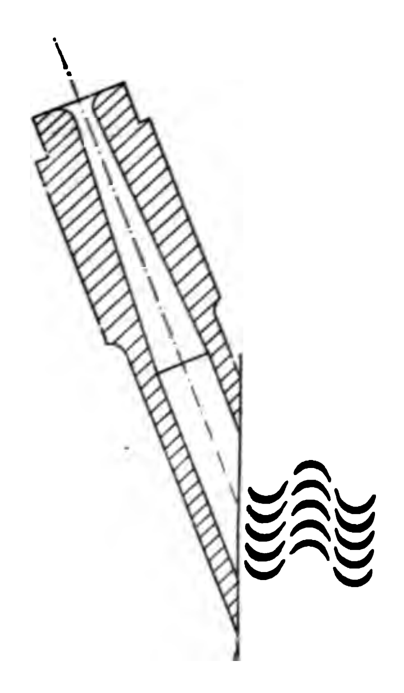


Fig. 229. — Turbine de Laval compound (1894).

turbine dans une ou plusieurs autres ayant la même vitesse linéaire (fig. 229).

La figure 229 *bis* représente une turbine compound ainsi constituée. Le disque mobile est à deux rangées d'aubes réceptrices, séparées par une couronne d'aubes distributrices fixes. Cette dernière est montée à l'intérieur de la boîte de la turbine et en est solidaire. Les aubes se trouvent uniquement en face des ajutages. La vitesse relative à la sortie de la seconde roue réceptrice c_4 se trouve ainsi plus rapprochée de la vitesse linéaire de

cette roue et la vitesse absolue à la sortie ω''' de beaucoup réduite,

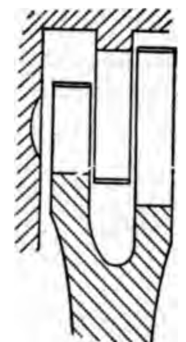


Fig. 229 *bis*. — Turbine compound à un seul disque.

comme on le voit dans la figure 230. Le rendement se trouve ainsi sensiblement amélioré.

Des turbines de ce type ont été construites pour utiliser de très

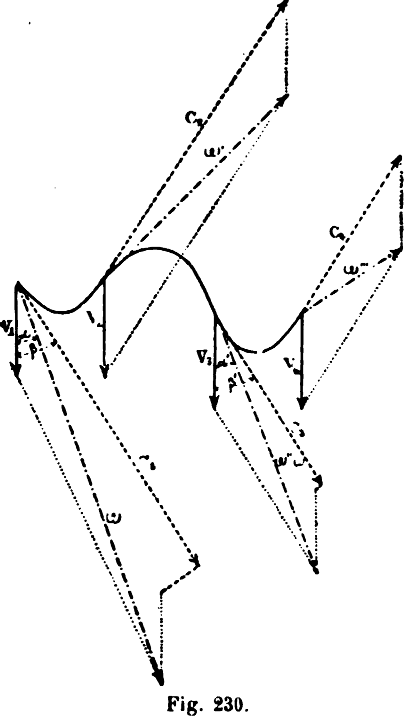


Fig. 230.

hautes pressions, 200 kilos par centimètre carré et au-dessus, des chaudières spéciales de de Laval.

Allaire et Gautier, 1890. — La machine se compose (fig. 231 et 232) d'une série de roues à aubes, A, A, A, calées sur un arbre BB, et tournant dans un cylindre de fonte CC, divisé en compartiments étanches par des cloisons DD. Les aubes EE sont placées entre ces cloisons et reçoivent le choc du fluide s'écoulant par les orifices FF, qui mettent en communication un réservoir quel-

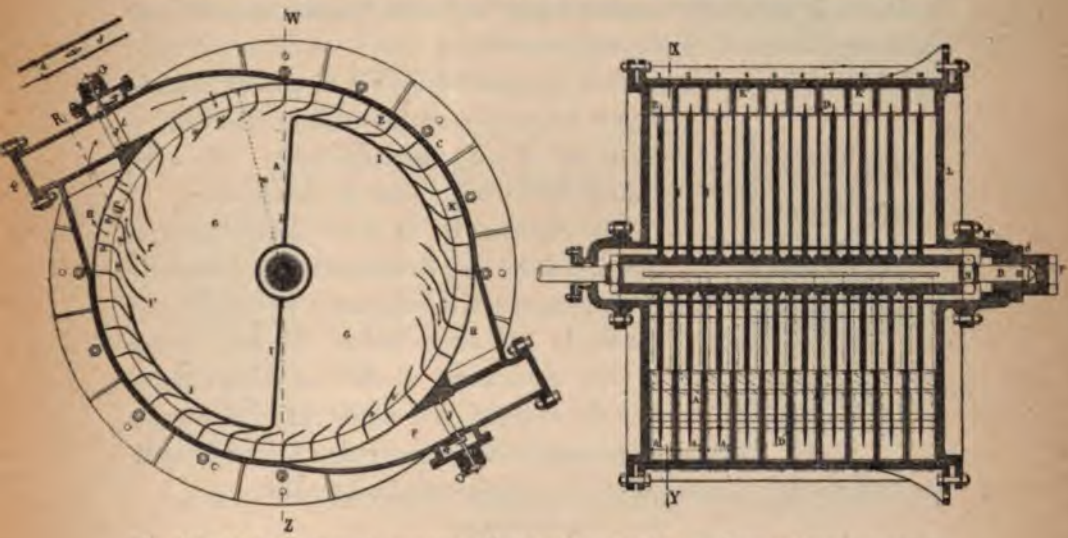


Fig. 231 et 232. — Roue à vapeur *Allaire et Gautier* (1890). Coupes transversale *xy* et longitudinale *wz*.

conque avec celui qui le suit immédiatement dans le sens de l'écoulement.

Le fluide qui s'écoule en FF, après avoir frappé les faces des aubes dirigées suivant le rayon, se réfléchit sur les faces inclinées *aa* et se répand dans l'espace vide GG, d'où il s'écoule ensuite, par les orifices HH, dans le réservoir suivant. Des directrices II, venues de fonte avec les cloisons DD, empêchent le fluide qui s'échappe le long des faces *aa* de venir frapper les aubes opposées ce qui produirait une action contraire au mouvement.

La régulation de l'écoulement du fluide par les orifices F, F, en fonction du travail à produire et de la vitesse a lieu au moyen des valves JJ, actionnées par un régulateur quelconque. Les variations de vitesse de ce régulateur sont transmises aux valves à l'aide d'un système de manivelles appropriées de façon que, le

travail des résistances venant à augmenter et la vitesse de rotation de la machine tendant à diminuer, le régulateur fasse ouvrir proportionnellement les valves, ce qui augmente la surface exposée à l'impulsion et, par suite, la puissance du moteur en maintenant sa vitesse constante et uniforme.

L'admission du fluide à une pression constante et déterminée a lieu dans le premier réservoir I par un tuyau double branché sur les deux orifices F, F de ce réservoir.

L'évacuation a lieu dans le dernier réservoir H par un double tuyau branché sur les orifices HH de ce réservoir et en communication soit avec l'atmosphère, soit avec le condenseur.


Fig. 233. — Roue à vapeur *Allaire et Gautier*. Coupe RS (fig. 231).

Les cloisons D, D sont maintenues en place et dans leur écartement par une série de couronnes KK, bloquées et serrées par les fonds LL du cylindre CC. Le serrage de ces couronnes se fait en même temps que le serrage des roues AA, ce dernier s'opérant avant la pose des pièces M et M au moyen des écrous M et N vissés sur l'arbre BB.

Deprez, 1890. — Le but de l'auteur était de trouver un moyen de diminuer la vitesse d'écoulement de la vapeur dans une proportion suffisante pour la rendre comparable à celle que l'on peut sans danger imprimer à une turbine.

On peut considérer comme approximativement vrai que les vitesses d'écoulement de deux vapeurs sont proportionnelles aux racines carrées de leur chaleur de vaporisation. On trouve ainsi que la vitesse d'écoulement de vapeurs de certains hydrocarbures est, pour une même différence de pression en amont et en aval, trois fois plus petite que celle de la vapeur d'eau.

Il résulte immédiatement de là qu'il y aurait un grand avantage, au point de vue du rendement économique, à employer les vapeurs des liquides tels que : éther, chloroforme; chlorure de carbone, essence de naphte, de préférence à la vapeur d'eau pour mettre en mouvement une turbine.

Il serait dangereux, dans beaucoup de cas, d'évaporer des

hydrocarbures dans une chaudière ordinaire, où les fuites pourraient avoir des conséquences très graves ; aussi, la vaporisation des liquides en question doit se faire dans une chaudière spéciale ressemblant à un condenseur par surface, telle que A (fig. 234), dans laquelle l'extérieur des tubes est baigné par de la vapeur d'eau provenant d'une chaudière ordinaire, tandis que l'intérieur des mêmes tubes contient l'hydrocarbure destiné à produire la vapeur motrice. Après avoir traversé la turbine B, la vapeur de

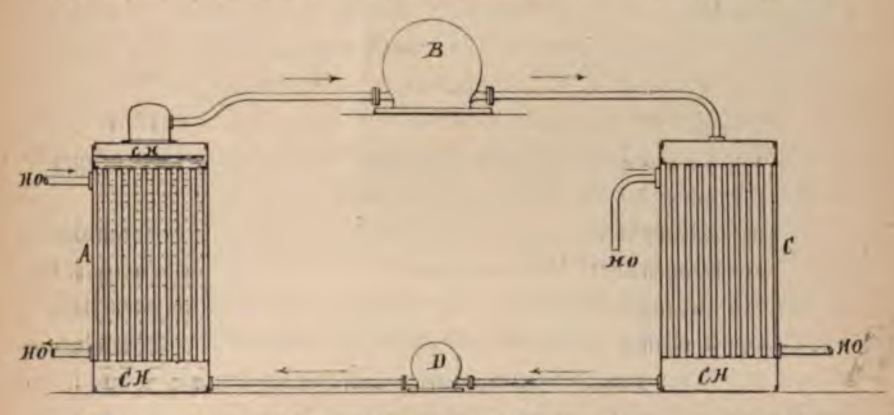


Fig. 234. — Dispositif *Deprez* (1890) pour l'utilisation de vapeurs de certains hydrocarbures.

l'hydrocarbure traverse un condenseur par surface C, où elle reprend l'état liquide pour retourner ensuite, au moyen d'une pompe D, dans le générateur d'où elle est partie.

Au lieu d'employer la vapeur d'un liquide dont la chaleur de vaporisation est aussi faible que possible, on peut, en appliquant le même principe, lancer dans la turbine un jet d'eau liquide à haute température. En effet, un jet d'eau liquide, sortant d'une chaudière à une pression supérieure à celle de l'atmosphère se réduit partiellement en vapeur au moment où il arrive dans l'atmosphère ; sa température s'abaisse à 100° et une partie de la chaleur qu'il contenait en sortant de la chaudière disparaît en se transformant en force vive.

Mais la quantité de chaleur, ainsi transformée en ce travail, est beaucoup plus petite que pour un jet de vapeur, parce que l'eau liquide sortant de la chaudière contient elle-même très peu de

chaleur. Il en résulte que la vitesse finale du mélange d'eau et de vapeur est beaucoup plus petite que celle d'un jet composé exclusivement de vapeur à l'origine.

Un jet entièrement liquide à sa sortie d'une chaudière où la température est de 160° est animé, d'après Zeuner, d'une vitesse de 171 mètres par seconde, lorsque sa température est tombée à 100° par suite de la vaporisation d'une portion de l'eau qu'il contenait.

La vitesse d'un jet de vapeur sortant de la même chaudière serait supérieure à 700 mètres; seulement, comme la dépense d'eau, en employant ces dispositifs, serait très considérable, il est nécessaire de recueillir le jet, à sa sortie de la turbine, dans une sorte de condenseur destiné à ramener à l'état d'eau liquide à 100° la petite quantité de vapeur produite.

L'eau entièrement liquide est alors renvoyée à la chaudière avec une température initiale de 100°, de sorte qu'on n'a qu'à lui fournir la quantité de chaleur nécessaire pour la ramener à 160°; on pourrait même, avant de renvoyer à la chaudière ce mélange d'eau et de vapeur, le comprimer dans une pompe jusqu'à ce qu'il reprenne entièrement l'état liquide et la température de 160°. La pompe de compression employée à cet usage serait fixée à la chaudière même et mise en mouvement par un moteur spécial. Mais il faudrait, dans ce dernier cas, un tuyau pour amener le jet de liquide de la chaudière à la turbine et un second tuyau pour ramener à la même chaudière le mélange d'eau et de vapeur à 100°.

Voici encore un autre procédé pour résoudre le même problème.

La vapeur d'eau sortant d'une chaudière à 200°, par exemple, traverse une première turbine pour s'écouler dans un réservoir, où sa pression est maintenue au moyen d'un régulateur de pression à la pression de la vapeur saturée à 175°.

De ce premier réservoir, elle se rend à une deuxième turbine, montée sur le même axe que la première, et en sort pour se rendre dans un deuxième réservoir, où sa pression est maintenue par un régulateur égale à celle qui correspond à la pression de vapeur saturée à 150°, et ainsi de suite.

La vapeur traverse ensuite quatre turbines; à la sortie de

chacune d'elles, elle éprouve une chute de température de 25°, et cette chute est maintenue constante, grâce aux réservoirs intermédiaires qui sont munis de régulateurs de pression. La vitesse de la vapeur, en traversant chaque turbine, est toujours faible, parce qu'elle a lieu entre deux réservoirs qui sont à une faible différence de température.

Parsons, 1890. — Au lieu de faire circuler la vapeur parallèlement à l'axe, Parsons fait, dans ses turbines plus récentes, travail-

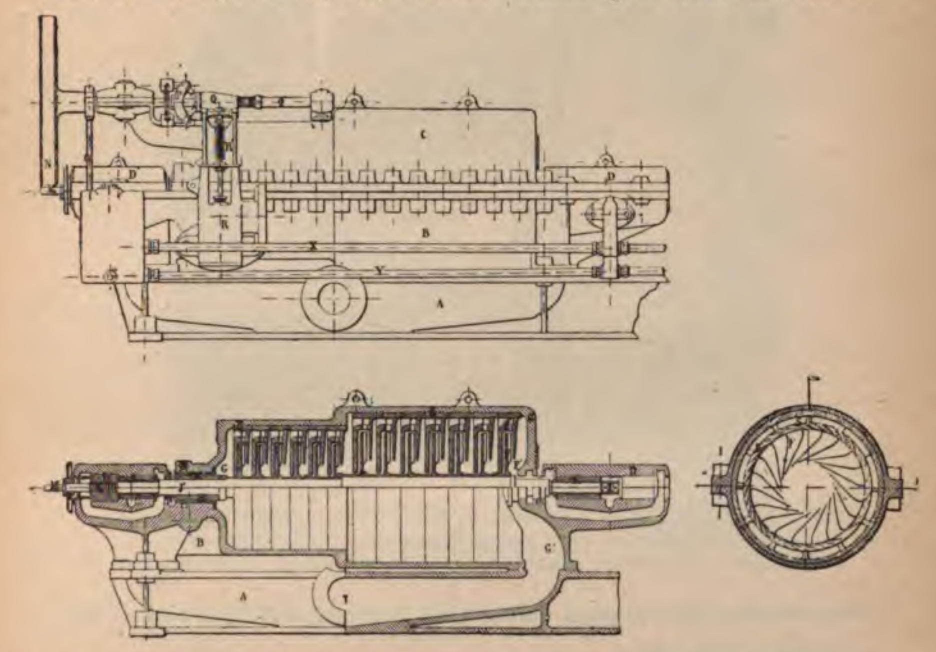


Fig. 235 à 237. — Turbine centripète *Parsons* (1890). Elévation, coupe longitudinale et transversale.

ler la vapeur radialement, en la dirigeant en un flux centripète ou centrifuge.

Le cylindre de la turbine centripète (fig. 235 à 237) est en deux parties B et C, boulonnées ensemble. L'arbre J' qui le traverse porte une série de roues mobiles de deux diamètres différents, afin que la détente se fasse en compound d'une série à l'autre. Toutes portent des ailettes rayonnantes F. Les couronnes directrices E sont fixées aux demi-cylindres B et C.

Pour diminuer les fuites intérieures et forcer toute la vapeur à traverser les turbines, on ajuste avec précision les pièces tournantes, de manière à ne laisser que le jeu strictement nécessaire pour éviter le frottement.

La vapeur arrive par la soupape réglable R dans l'espace G, s'épanouit sur l'écran E′, traverse l'espace annulaire S et s'engage

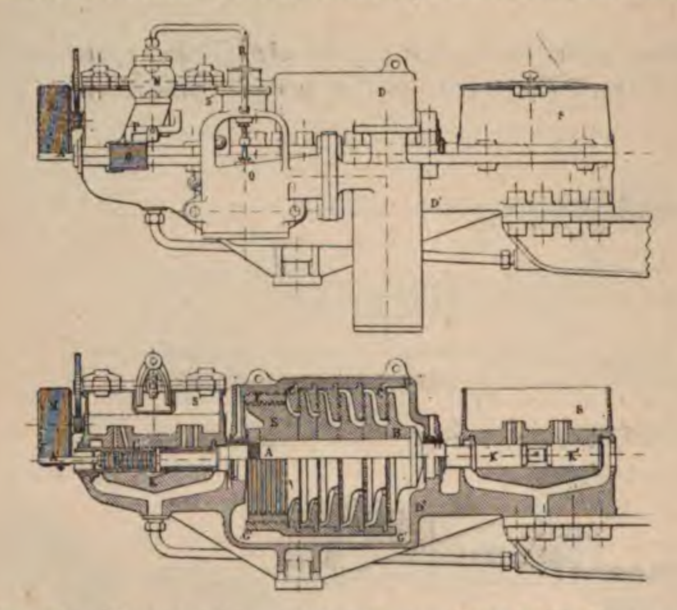


Fig. 238 et 239. — Turbine centrifuge *Parsons* (1891). Elévation et coupe longitudinale.

dans les distributeurs qui la dirigent, en un flux centripète, sur les aubes réceptrices.

D'une turbine elle passe à l'autre en se détendant graduellement.

Parsons, 1891. — Dans la turbine centrifuge (fig. 238 et 239), la vapeur est admise dans l'espace F. Les turbines B, calées sur l'arbre A, se touchent par les moyeux, dont le diamètre décroît progressivement du côté de l'échappement. La vapeur, après avoir franchi successivement les différents cercles de directrices fixes de la première couronne C et des aubes du premier disque mobile B, passe du dernier cercle de B au premier cercle des

directrices suivantes *c*, et ainsi de suite, en se détendant successivement de manière à s'échapper par G dans l'atmosphère ou au condenseur sous une faible pression.

L'échappement G communique avec la face extérieure du piston E. Ce piston, garni de nervures circulaires emboîtées dans

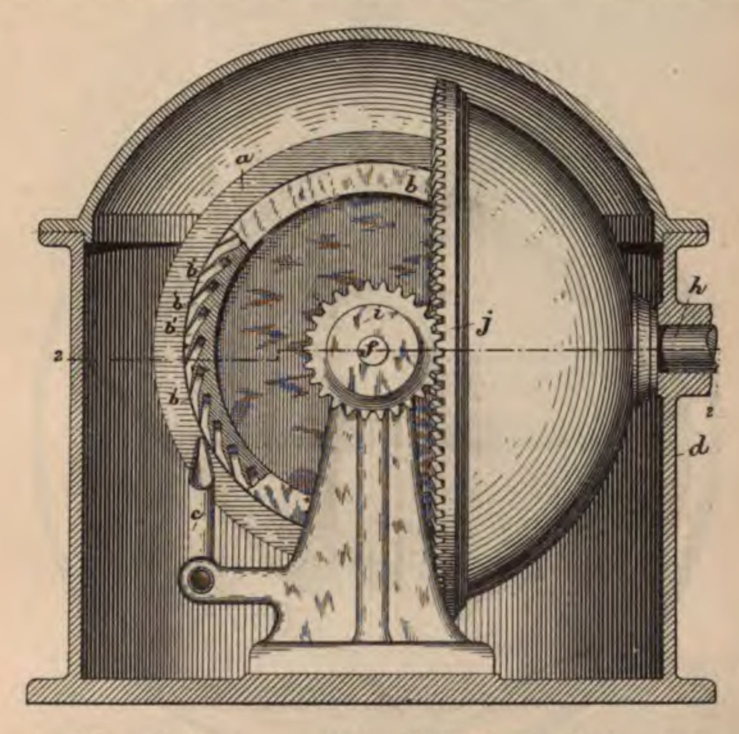


Fig. 240. — Turbine à vapeur *Altham* (1892). Coupe verticale partielle.

les rainures correspondantes de son cylindre F, est calculé de façon à presque équilibrer la poussée de la vapeur qui tend à écarter les disques B des couronnes C.

Altham, 1892 (fig. 240 à 245). — La turbine annulaire *a* embrasse une partie considérable de la turbine *b*, dont la périphérie est très rapprochée de celle de *a* (fig. 242).

Les aubes *a'* de la turbine *a* s'ouvrent sur sa périphérie intérieure et celles *b'* de la turbine *b* sur sa périphérie extérieure. Les aubes ont la forme d'un U dans la direction de leur longueur

(fig. 245) et celles de *a* alternent avec celles de *b*, de sorte que la vapeur entrant dans une des aubes *b'* passe ensuite dans une aube *a'*, et ainsi de suite. Une rangée des aubes *b'* dépasse la roue *a* pour pouvoir recevoir la vapeur d'un ajutage. Les aubes des deux

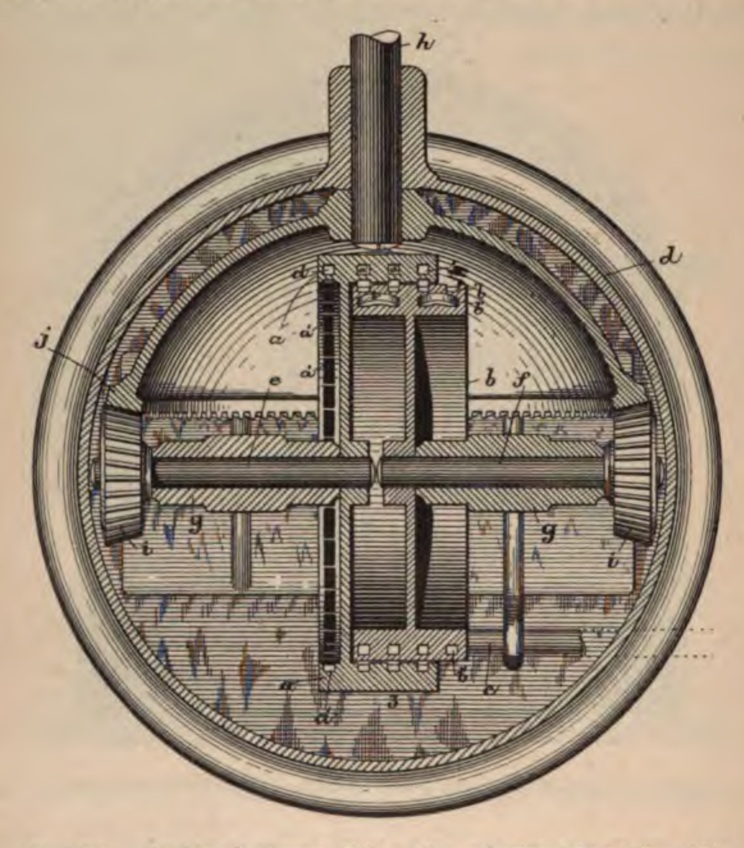


Fig. 241. — Turbine à vapeur *Altham*. Coupe horizontale 2-2 (fig. 240).

roues sont disposés tangentiellement (fig. 242). Celles de la roue *a* sont presque tangentes à la périphérie *b* et celles de *b*, sont tangentes à un cercle de cette roue.

L'ajutage *c* fournissant de la vapeur se trouve en face des aubes *b'*.

La vapeur sortant de l'ajutage *c* entre directement dans les aubes *b'* à une extrémité de la roue *b*, d'où elle passe, par les aubes *a'*, dans la roue *a* ; de là, elle revient dans *b* et, repassant

par les aubes de la roue *a*, s'en va dans une chambre *d*, qui renferme le moteur, puis sort par un tube d'échappement *d'*.

La vapeur agit par conséquent alternativement tantôt sur la

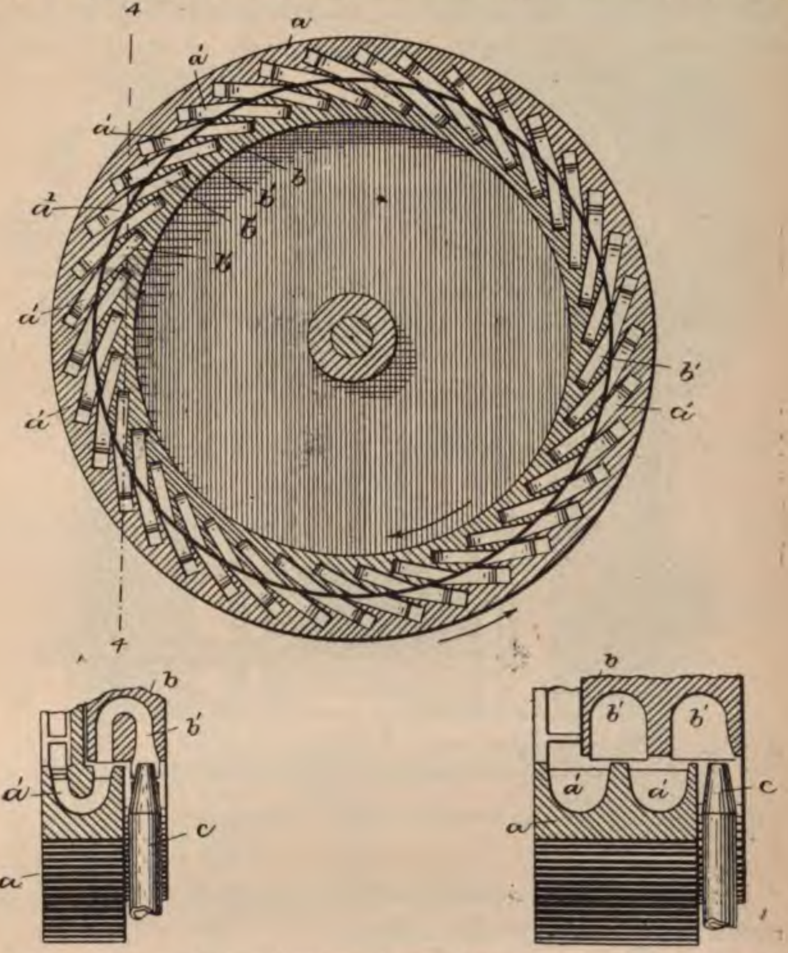


Fig. 242 à 244. — Turbine à vapeur *Altham*. Coupe transversale 3-3 (fig. 241) et détails des aubes.

roue *a*, tantôt sur la roue *b*, et actionne successivement diverses parties de ces roues.

La condition principale pour qu'il n'y ait pas de perte de vapeur, est que les deux roues tournent l'une dans l'autre presque sans jeu.

La roue *a* est fixée sur l'arbre *e* et la roue *b* sur l'arbre *f*. Ces arbres tournent dans les coussinets *gg*. Les roues *a* et *b* étant

mises en mouvement simultanément et dans des directions opposées, on s'arrange de façon à utiliser ces deux mouvements par un seul arbre *h*. A cet effet, deux pignons *i i*, placés aux extrémités extérieures de ces arbres et diamétralement opposés, engrènent avec une roue dentée *j*, fixée sur l'arbre *h* (fig. 240 et 241).

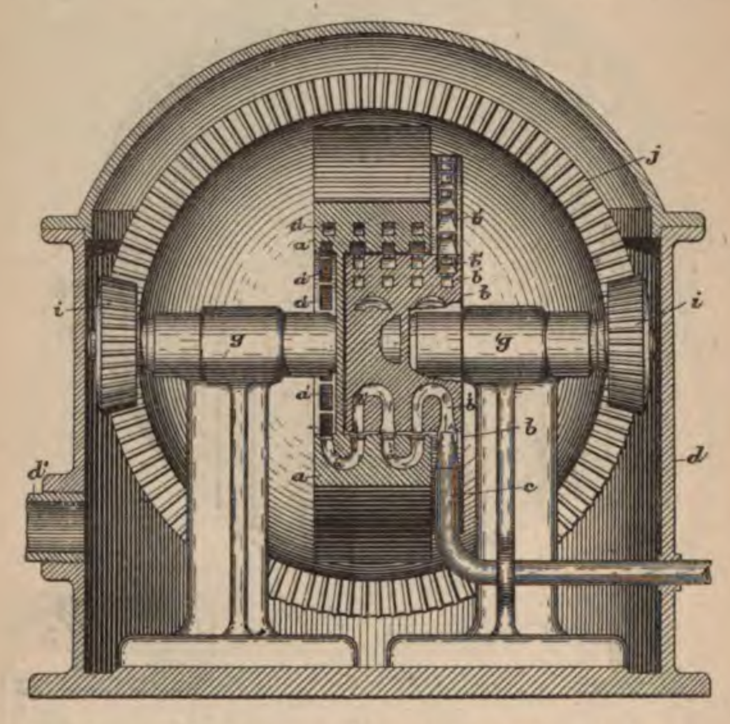


Fig. 245. — Turbine à vapeur *Altham*. Coupe verticale 4-4 (fig. 242).

Les aubes sont simultanément réceptrices et distributrices, comme on peut s'en rendre compte.

Edwards, 1892. — Cette turbine à vapeur se compose (fig. 246 et 247) d'un disque 30, mobile entre deux plateaux fixes 14 et 15, et entraînant l'arbre de couche par le plateau 31. La vapeur, admise par 10, 11, 12 et 21 entre le disque mobile et les deux disques fixes, s'échappe par 33, après s'être détendue entre les aubes réceptrices et directrices du moteur.

Le jeu entre le disque moteur et ses plateaux est d'environ

7/100 de millimètre, et on peut le régler avec précision au moyen de verniers 40 (fig. 247), tracés sur les plateaux 14 et 15.

J.-E. Thompson et E.-J. Nevard, 1893. — La route D (fig. 248),

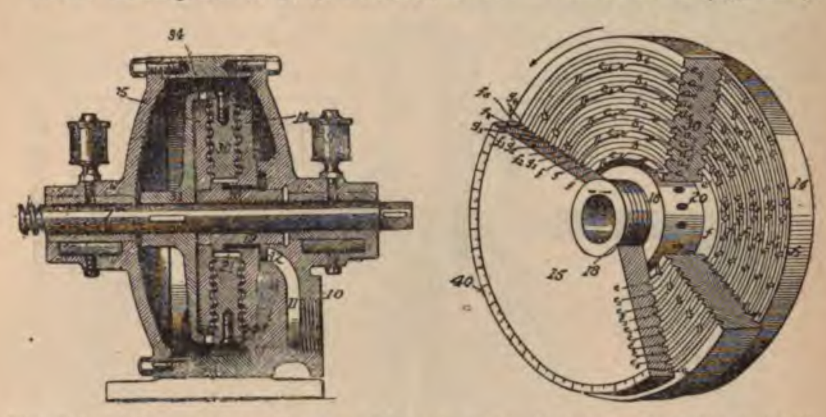


Fig. 246 et 247. — Turbine à vapeur *Edwards* (1892). Coupe longitudinale et détails des disques distributeur et récepteur.

montée sur l'arbre C, tourne à l'intérieur d'un cylindre K, fixé au bâti B, et entouré d'une enveloppe I J.

L'arbre C, creux sur une certaine longueur, communique avec

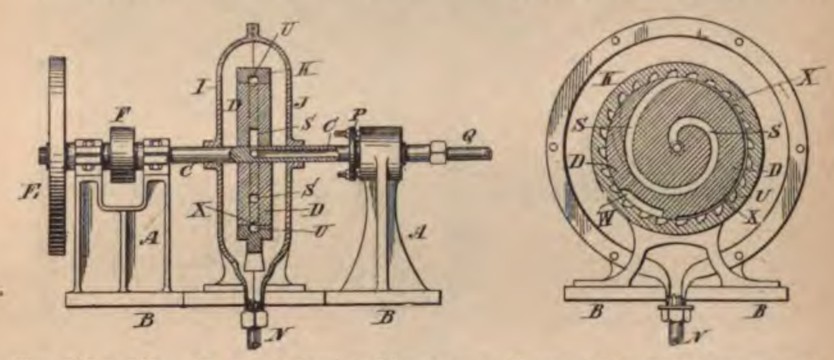


Fig. 248 et 249. — Moteur à réaction *Thompson et Nevard* (1893). Coupe transversale et longitudinale.

la spirale S de la roue D, qui va en s'élargissant du centre à la périphérie.

Le cylindre K porte intérieurement une série d'entailles U.

X est une rainure périphérique pour réduire autant que possible le frottement entre les parties mobile et fixe.

W indique la place où la vapeur s'échappe des poches K dans la boîte IJ, et de là à l'extérieur.

E.-K. Terry, 1893. — A une extrémité de l'enveloppe A

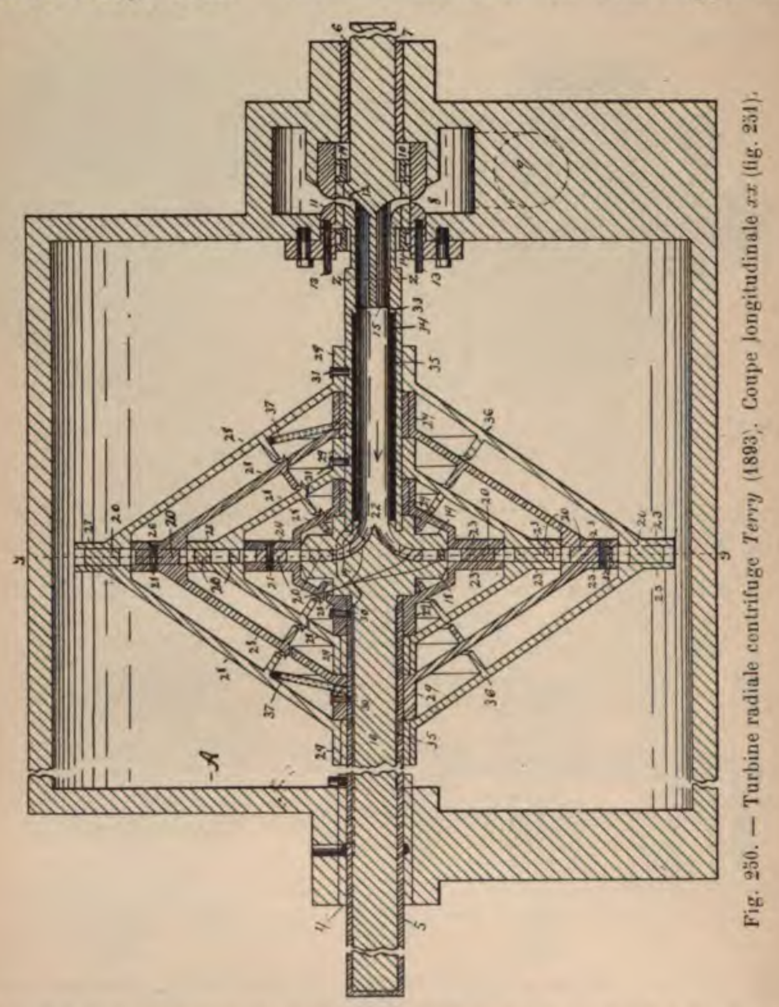


Fig. 250. — Turbine radiale centrifuge *Terry* (1893). Coupe longitudinale *xx* (fig. 251).

(fig. 250-253) se trouve le coussinet 4, pour l'arbre tubulaire 5 et, à l'autre extrémité, le coussinet 6 de l'arbre 7. A cette extrémité, se trouve également une chambre de vapeur 8, munie de tubes d'alimentation, ainsi que l'indiquent les lignes pointillées 9, pour recevoir la vapeur. Un anneau fixe 10, d'un côté, et, de l'autre, un anneau mobile ou soupape régulatrice 11, forment les parois

d'un canal annulaire conduisant de la chambre à vapeur 8 à passage annulaire 12, dans l'arbre 7.

L'anneau mobile est muni de tiges 13, qu'on peut actionner par un régulateur ordinaire, pour débiter plus ou moins de vapeur.

La partie de l'arbre 7 qui se trouve en dehors du passage 12 est massive, tandis que l'autre est creuse, et les deux sont liées

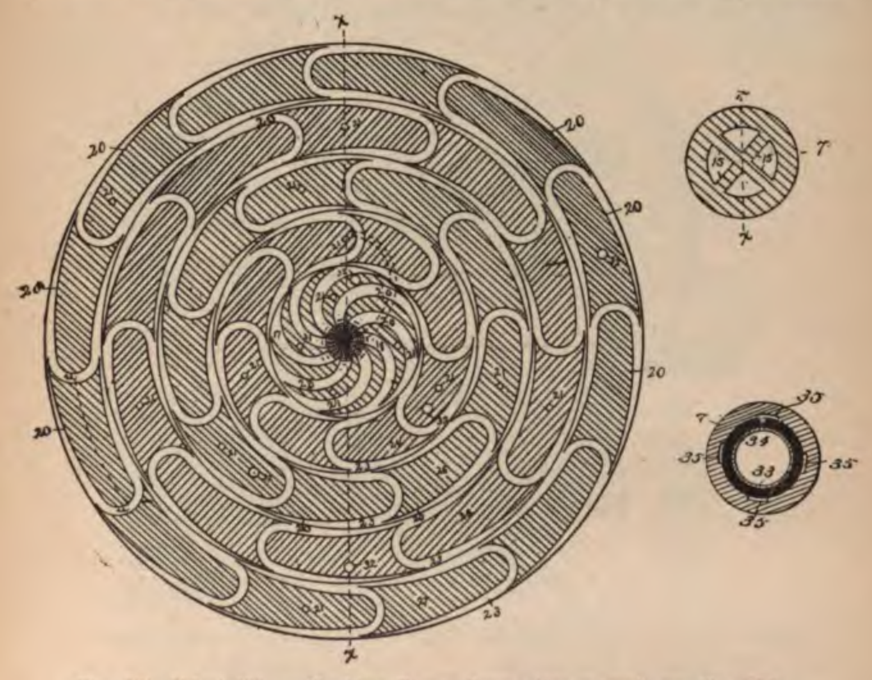


Fig. 251, 252 et 253. — Turbine *Terry*. Coupe transversale *yy* (fig. 250). Détails de l'arbre. Coupe transversale *zz* (fig. 250).

par des bras 15, permettant ainsi à la vapeur de traverser longitudinalement cet arbre. Cet arbre 7 est solidement relié à un arbre massif 16 par l'intermédiaire de la première roue 17, de sorte que les arbres 7 et 16, et la roue 17 tournent ensemble comme une seule pièce. Un arbre tubulaire 5 entoure l'arbre 16, ayant comme support le coussinet 4, à l'extrémité A.

La turbine est composée d'une série de roues à aubes disposées concentriquement, soit les unes fixes, les autres mobiles, soit tournant toutes, mais dans des directions alternativement opposées.

La première roue 17 est composée de deux disques 18 et 19 et des aubes 20, fixées par des vis 21.

Les autres roues 24, 25, 26 et 27 sont composées de deux pièces symétriques maintenant les aubes 20, chaque pièce consistant en une plaque annulaire 23, une partie cylindrique 29 et une pièce de jonction 28. Ces deux moitiés et leurs aubes sont reliées ensemble par des écrous 21, comme dans la première roue.

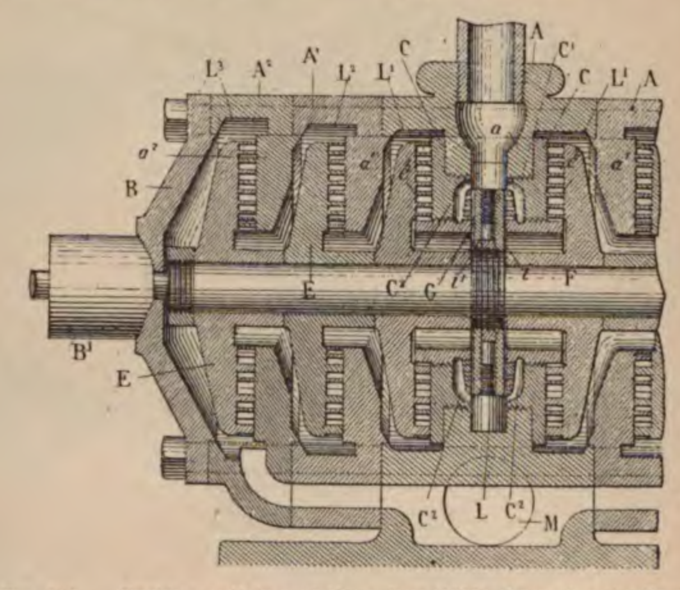


Fig. 254. — Turbine radiale centrifuge *Dow* (1893). Coupe longitudinale.

Le fluide suit un chemin tangentiel pour passer successivement d'une roue à une autre, ce qui détermine la longueur des aubes des différentes roues de plus en plus grande du centre à la périphérie.

La première roue 17 tourne avec les arbres conjugués 16 et 7. L'anneau 29 (côté gauche) de la roue 24 est fixé à l'arbre tubulaire 5 par une vis 30, tandis que celui du côté opposé (côté droit) est supporté par l'arbre 7. L'anneau 29 (côté droit) de la roue 25 est fixé par une vis 34 à l'arbre 7, tandis que celui du côté opposé est supporté par l'arbre tubulaire 5, et ainsi de suite dans toute la série des roues, chaque roue, alternativement, étant fixée à l'arbre central et les autres à l'arbre tubulaire 5.

Par cette construction, les roues peuvent tourner dans les directions opposées. Toutes les roues qui tournent avec les arbres centraux 16 et 7 sont indiquées par les numéros impairs : 17, 25

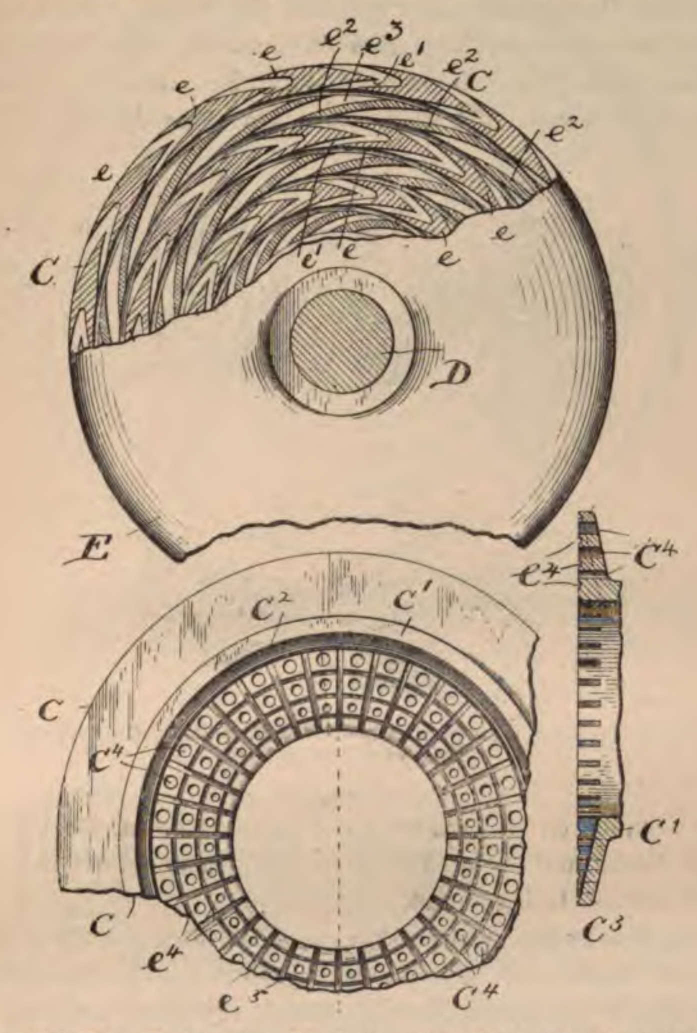


Fig. 255 à 257. — Turbine *Dow*. Détails des aubes distributrices et réceptrices.

et 27, et celles tournant avec l'arbre tubulaire par les numéros pairs : 24 et 26. La dernière roue débouche dans la chambre A.

Une poulie devra être fixée à l'arbre 7 à une extrémité et à l'arbre tubulaire à l'extrémité opposée.

J.-H. Dow, 1893. — La vapeur, admise par A (fig. 254 à 257) pénètre par les ouvertures C_1 des rondelles fixes C et les jeux ii', ménagés entre les faces de ces rondelles et celle du disque F, calé sur l'arbre D, est lancée, par les aubes directrices e^2, sur les aubes réceptrices *e* d'une première paire de roues EE, pour s'en échapper radialement dans une chambre L′, d'où elle passe à une seconde paire de récepteurs A′E, puis à une troisième A^2E, et s'évacue

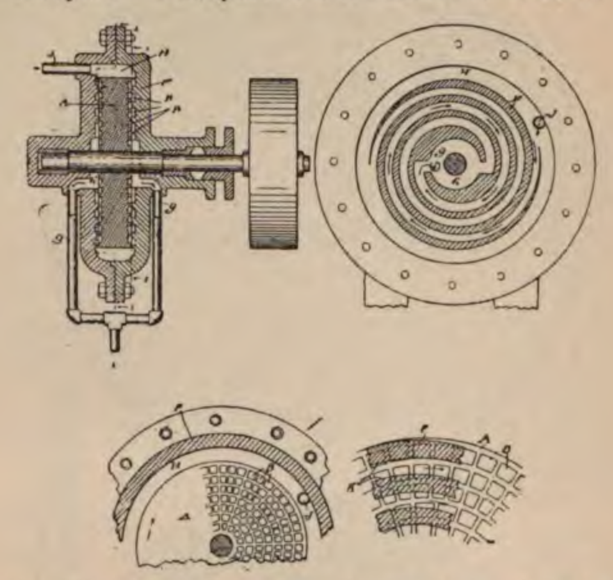


Fig. 258 à 261. — Turbine radiale centripète *Mac-Elroy* (1893). Coupe longitudinale transversale et détails.

définitivement en M, sous une très faible pression. Le tracé des aubes directrices e^2e^3 et des aubes réceptrices *ee′* est nettement représenté sur la figure 255.

Les pressions à droite et à gauche du disque central F sont toujours égales, car, dès que cet équilibre serait rompu, toutes les réceptrices se porteraient d'un côté, le disque F viendrait buter contre les rondelles C et fermerait ou dégagerait les orifices ii'. Une plus grande quantité de vapeur passerait alors d'un côté et le système serait automatiquement ramené dans sa position normale.

Mac-Elroy, 1893. — Dans cette machine (fig. 258 à 261), la vapeur admise en JH, autour du disque moteur A, s'échappe du

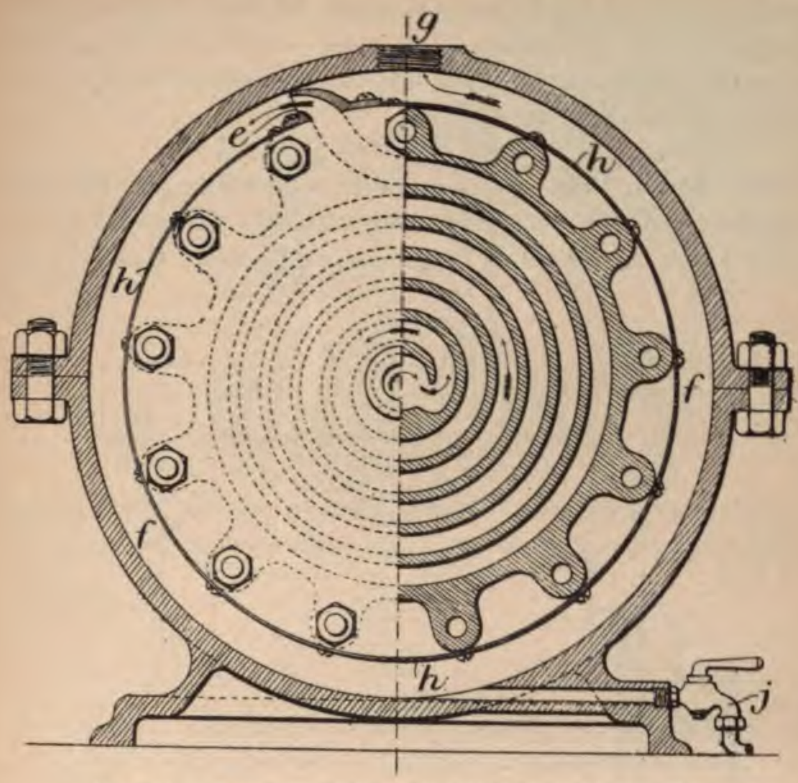


Fig. 262. — Moteur spiroïdal *Smith* (1893). Coupe transversale.

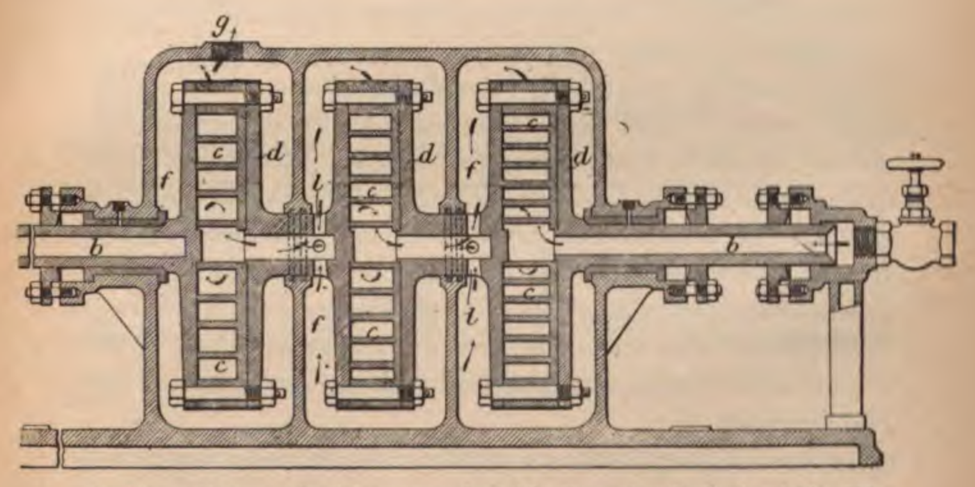


Fig. 263. — Moteur spiroïdal compound *Smith*. Coupe longitudinale *gh* (fig. 262).

centre G, par *gg*, après avoir parcouru les canaux spiraloïdes K des plateaux F, qui vont en s'élargissant vers le centre de manière à permettre à la vapeur de se détendre en même temps qu'elle réagit sur les aubes du disque A.

Isaac Smith, 1893. — La machine se compose (fig. 262) d'un cylindre, à un ou plusieurs compartiments *f*, traversé par un arbre creux *b*, portant à l'extrémité une poulie. Une série de

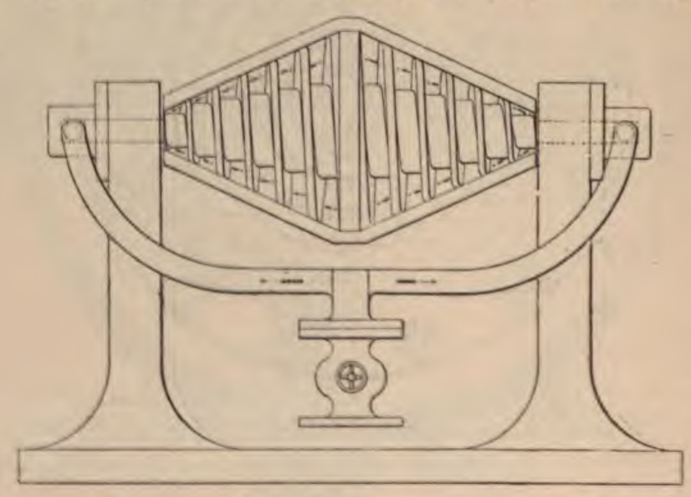


Fig. 264. — Moteur hélicoïdal *Smith*. Elévation.

disques *d* font corps avec cet arbre et forment (fig. 263) les parois des appareils moteurs.

La vapeur, au sortir de la valve d'admission *a*, s'engage dans l'arbre creux *b*, d'où elle pénètre dans un canal spiroïdal *c*, à section croissante. Après avoir passé du centre à la périphérie, elle s'échappe en *e*, dans le compartiment *f*, et, par les ouvertures *l*, s'engage dans le tronçon de l'arbre qui communique avec le moteur suivant. Elle y suit le même mouvement centrifuge, et regagne le troisième moteur, d'où elle s'échappe à l'air par l'ouverture *g*.

En passant d'un moteur à l'autre, la vapeur se détend de plus en plus dans les canaux successifs, dont la section augmente vers l'échappement.

La figure 264 représente un appareil à double admission, à conduite hélicoïdale de vapeur et échappement unique vers le milieu.

Seger, 1893. — Cette turbine (fig. 265) est constituée par deux

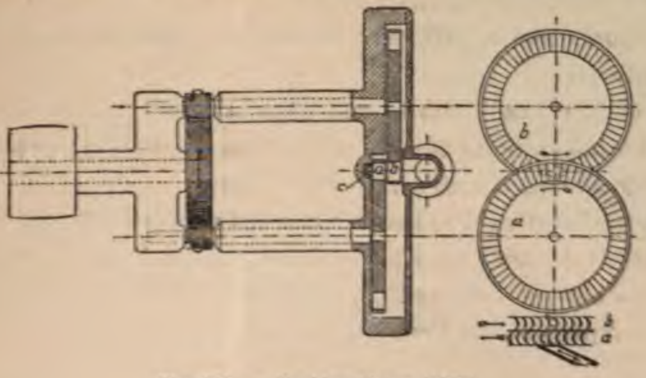


Fig. 265. — Turbine *Seger* (1893).

roues *a* et *b*, tournant avec des vitesses égales, mais en sens contraires. Elles sont enfermées dans une chambre, d'où la vapeur

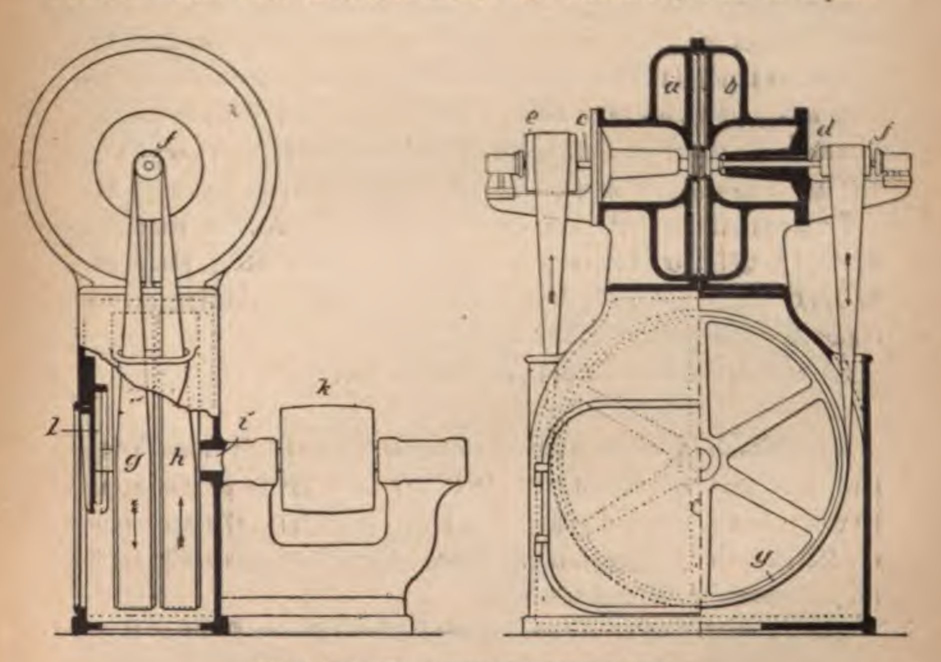


Fig. 266 et 267. — Turbine à vapeur *Seger*.

s'échappe, après avoir passé de *c* en *a* et *b*, au travers les aubes des parties de ces deux roues qui se recouvrent.

Les arbres des deux roues portent des pignons qui engrènent avec une roue dentée intermédiaire.

Les figures 266 et 267 représentent une autre disposition de la turbine Seger.

Les deux roues à aubes sont placées l'une en face de l'autre dans une même boîte et séparées par un diaphragme percé d'orifices correspondant aux arrivées de vapeur.

Elles tournent en sens inverse et à des vitesses différentes, aussi les arbres moteurs *c* et *d* portent des poulies *e* et *f* de diamètres différents afin de communiquer la même vitesse aux deux poulies *g* et *h* placées sur l'arbre principal.

Morton, 1893. — Pour déterminer la meilleure forme des ajutages, Morton s'est basé sur l'expérience suivante.

Un tube conique droit, à section circulaire, est monté sur une conduite de vapeur A (fig. 269). Ce tube communique par trois tubes cylindriques de petit diamètre avec un vase rempli de mercure. Quand on lance dans cet ajutage de la vapeur sous pression, le mercure monte dans les trois tubes 1, 2 et 3, plus haut dans le premier que dans le second et dans le troisième. On constate une aspiration qui diminue de plus en plus vers l'échappement de l'ajutage A.

En prenant un tube conique recourbé, de section rectangulaire (fig. 268), on constate à l'aide d'un manomètre, placé en 4 et 5, au moment où on lance la vapeur, une aspiration du côté concave, et une surpression du côté convexe.

C'est cette dernière forme que Morton a adoptée.

La réalisation de la nouvelle machine consistait donc à faire traverser successivement, par de la vapeur à haute pression, plusieurs roues percées d'ajutages à leur périphérie. C'est ce qui a été fait, avec la disposition que représentent les figures 272 et 273 où la vapeur se détend six fois.

Sur un même arbre D, sont montées trois roues doubles B, qui tournent toutes, dans une enveloppe étanche A. Cette enveloppe, constituée par les deux moitiés d'un cylindre circulaire boulonnées ensemble, est divisée par des cloisons C, en trois compartiments affectés chacun à l'une des roues.

Chaque roue est formée de trois disques d'acier : un central N, qui est plat et rivé sur l'axe par le collier M, deux latéraux O, légèrement emboutis, qui sont reliés au disque N par des anneaux de bronze portant les ajutages réservés à la vapeur. On voit la disposition de ces ajutages sur les figures 270 et 271, dont la

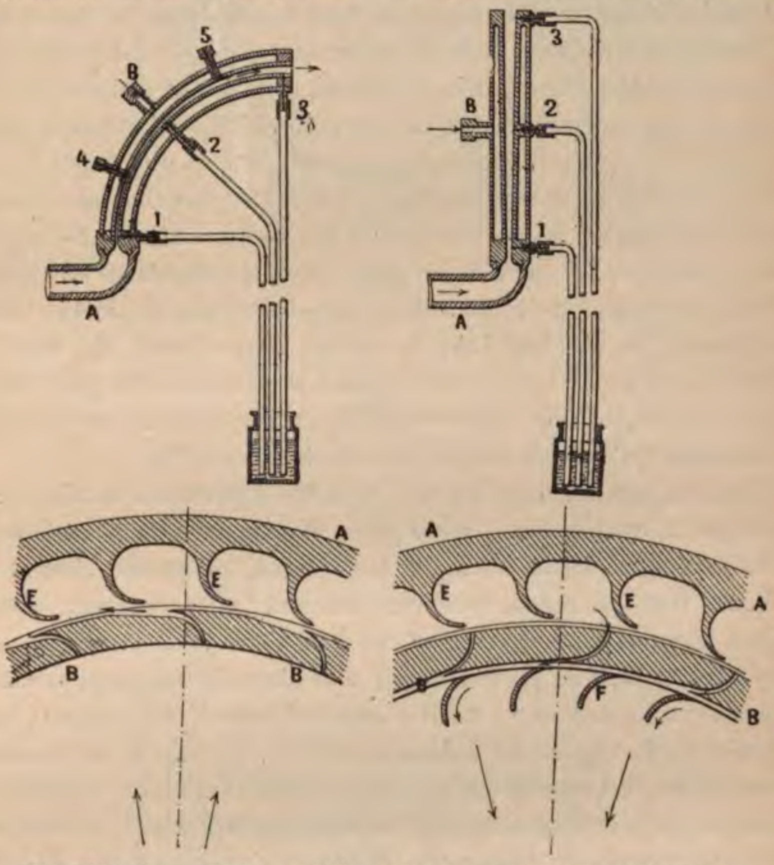


Fig. 268 à 271. — Turbine radiale mixte *Morton*. Appareil expérimental. Détail des ajutages d'une roue.

partie gauche représente la coupe de l'anneau traversé par la vapeur de dedans en dehors et la partie droite la coupe de l'anneau traversé de dehors en dedans.

La vapeur, venant de la chaudière par le conduit vertical qu'on voit sur la gauche de la figure 272 arrive, par l'ouverture annulaire ménagée autour de l'arbre D, dans la première partie de la

roue B, dont elle traverse les orifices de dedans en dehors. Elle lui imprime un mouvement de rotation de gauche à droite, et sort de la roue, presque tangentiellement à sa périphérie, dans une direction inverse à celle de son mouvement. Les butées E (fig. 270), ménagées de distance en distance sur le parement intérieur de l'enveloppe A, font reprendre à la vapeur une direction centripète, et elle traverse de dedans en dehors les ajutages de la deuxième partie de la roue, disposés en sens inverse de ceux de la première, de manière que malgré l'inversion de son mouvement par rapport à l'axe, elle imprime à la roue une impulsion de même sens que par son passage à travers la première série d'ajutage. Les butées F, portées par le disque H, achèvent de rejeter la vapeur vers le centre de la roue. Un canal annulaire semblable à celui par lequel la vapeur s'était introduite dans le premier compartiment, la conduit dans le second. Après avoir agi dans le deuxième compartiment comme dans le premier, elle passe dans le troisième, et finit par se rendre au condenseur, en suivant le conduit qu'on voit sur la droite de la figure 272.

Dans la machine que représentent les figures 274 et 275, l'enveloppe A, coulée d'une seule pièce et à laquelle on a seulement boulonné deux fonds, contient deux roues, qu'aucune cloison ne sépare. Dans ces roues, les divers anneaux qui servent aux expansions successives de la vapeur, au lieu d'être juxtaposés, comme dans la machine du premier type, sont disposés concentriquement les uns aux autres. La roue B comprend trois de ces anneaux traversés par la vapeur de dedans en dehors. La roue B' en a seulement deux. La vapeur arrive, par un canal annulaire analogue à ceux de la première machine, au cœur de la roue B, et traverse successivement, de dedans en dehors, les trois anneaux de cette roue; elle traverse ensuite de dehors en dedans les deux anneaux de la roue B' et se rend au condenseur. Les ajutages augmentent de section et quelquefois de nombre d'un anneau à l'autre. Entre les divers anneaux, sont interposées des butées F, F_1, E, F_2, F_3, destinées à imprimer à la vapeur les directions voulues. La machine Morton est donc une turbine compound, dans laquelle l'expansion est subdivisée entre plusieurs roues, mais il n'y a pas de distributeurs fixes entre les couronnes mobiles, qui

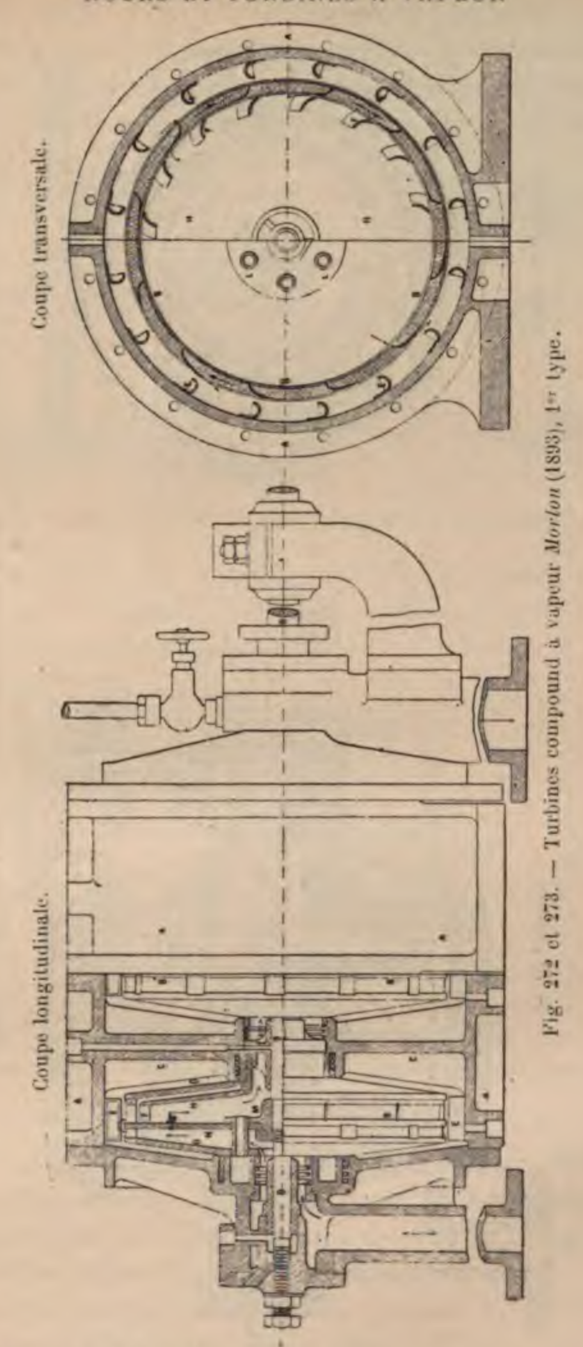


Fig. 272 et 273. — Turbines compound à vapeur *Morton* (1893), 1er type.

sont d'ailleurs solidarisées par groupes les unes aux autres.

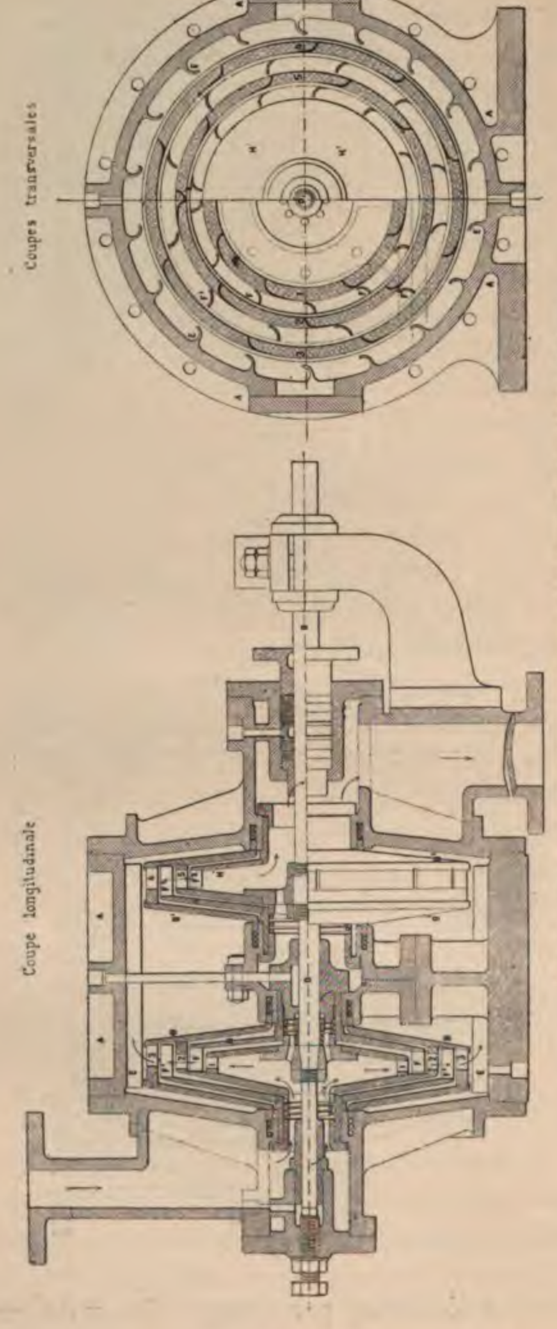


Fig. 274 et 275. — Turbines compound à vapeur *Morton* (1893). 2e type.

Parsons, 1893. — La vapeur admise en B pénètre (fig. 276 et 277) par les trous C′ et C_1 dans le premier bras A_2 d'où elle s'échappe tangentiellement, par les orifices *aa*, dans la première chambre D_2; puis elle passe de cette chambre, par l'orifice annulaire ménagé

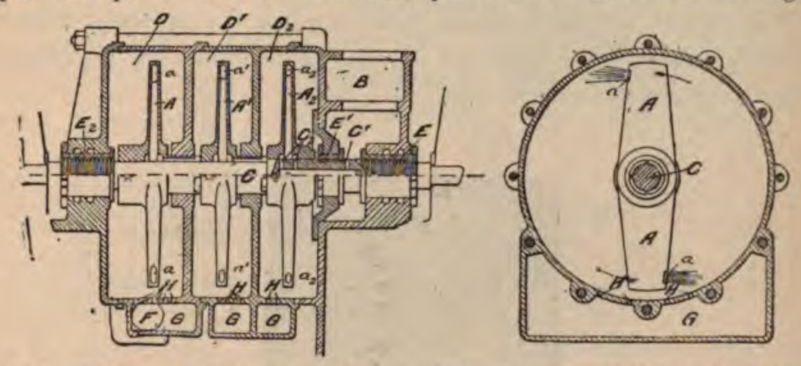


Fig. 276 et 277. — Roue à réaction *Parsons* (1893). Coupe longitudinale et verticale.

autour de l'arbre C, dans le second bras A_1, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière chambre D, d'où elle s'échappe par F, soit directement, soit après avoir épuisé sa force sur une turbine K (fig. 278).

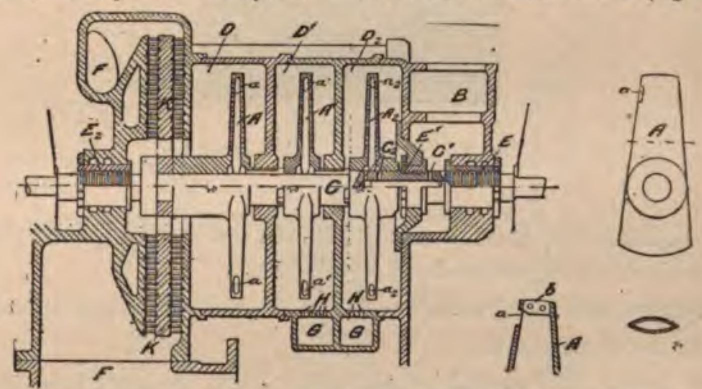


Fig. 278 et 279. — Roues à réaction accouplées à la turbine *Parsons*.

Les fuites de vapeur autour de l'arbre C sont évitées par des garnitures cannelées EE_2, et la purge de l'eau de condensation des chambres D_1D_2... se fait dans les poches G, au travers des trous H. La vapeur se détend donc d'un bras A à l'autre, au travers des chambres successives D_2, D_1, D.

Parsons revient ensuite (1894) aux turbines axiales en vue de l'application à la propulsion des navires.

Rateau, 1894. — La figure 280 représente la roue à aubes de cette turbine.

Les aubes sont découpées à la fraise dans la jante du disque. Elles ont la forme d'auget Pelton.

La vapeur est soufflée sur le disque par les ajutages disposés à la périphérie comme on le voit sur la figure 281 représentant un groupe électrogène.



Fig. 280. — Roue hélicoïde *Rateau*.

G.-K. Husberg, 1894. — La figure 282 est une coupe longitudinale suivant la ligne xx de la figure 283.

La figure 284 représente une coupe de la même turbine suivant une autre construction.

Les figures 285 et 286 représentent deux coupes transversales suivant les lignes yy et zz.

La vapeur arrive par c, passe par la conduite D, et pénètre dans une série de canaux spiroïdaux K. Ces canaux sont formés par deux disques A et A′ et des spirales B, maintenues par des boulons b (fig. 285) ou par des nervures d'un côté et des rainures correspondantes de l'autre des disques mêmes, comme l'indique la figure 286.

La section de ces canaux va en augmentant de façon à permettre

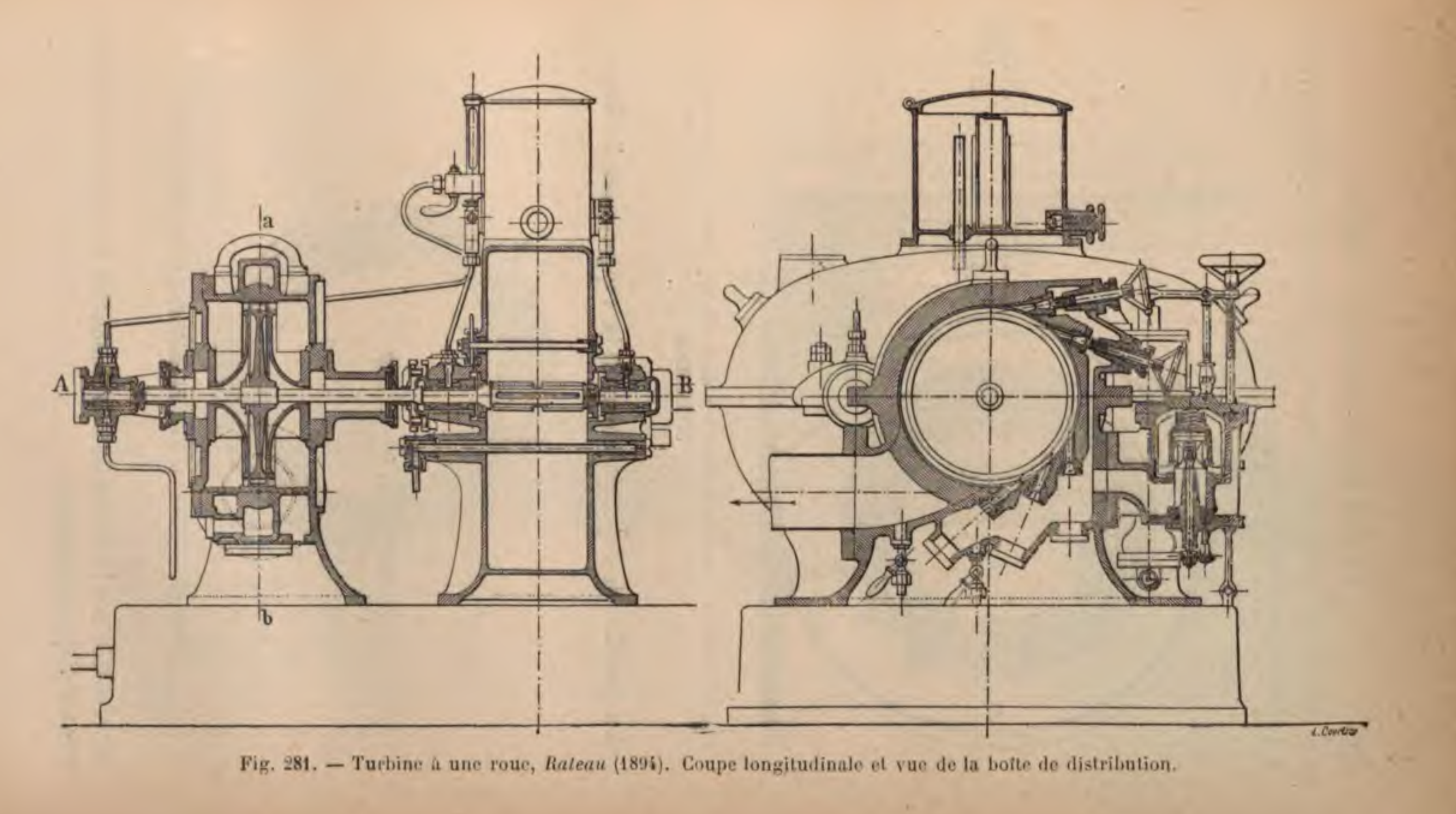


Fig. 281. — Turbine à une roue, *Rateau* (1894). Coupe longitudinale et vue de la boîte de distribution.

à la vapeur de se détendre au fur et à mesure qu'elle se dirige vers l'échappement.

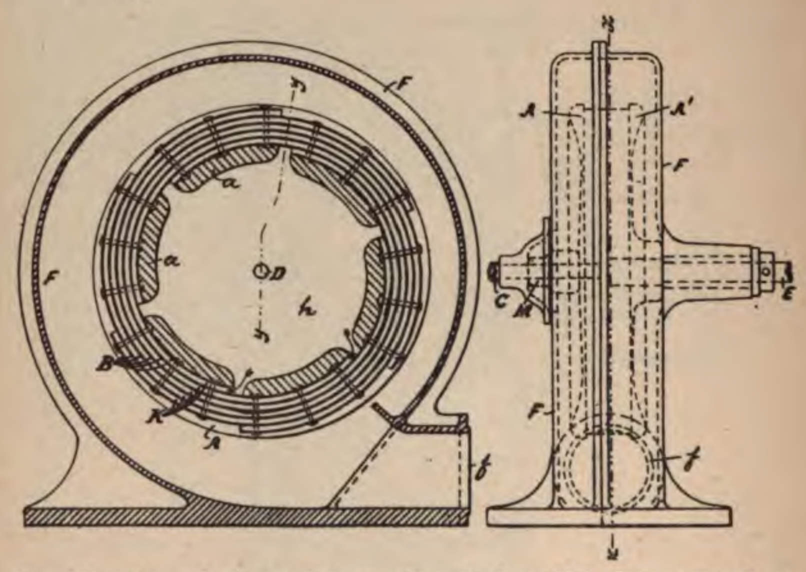


Fig. 282 et 283. — Turbine radiale centrifuge *Husberg* (1894). Coupe verticale *aa* et élévation.

La jonction de l'ajutage amenant la vapeur avec le disque est

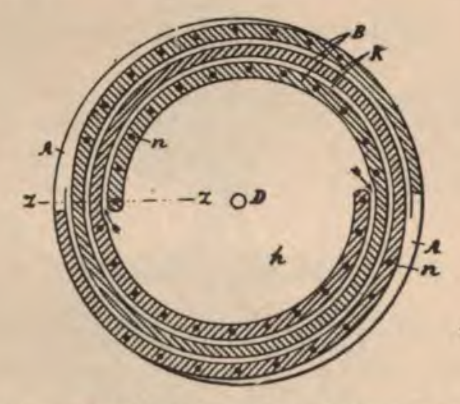


Fig. 284. — Turbine *Husberg* (variante). Coupe verticale.

représentée sur la figure 285. L'étanchéité de ce joint est garantie par un dispositif spécial.

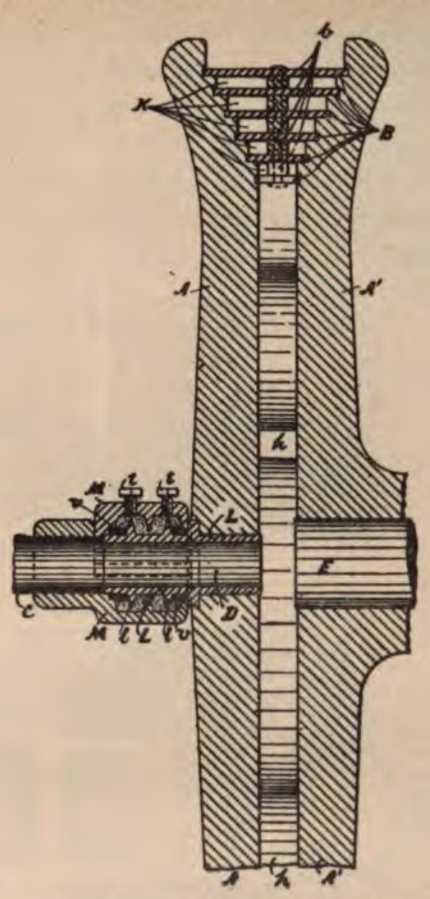


Fig. 285. — Turbine *Husberg*. Coupe transversale *yy* (fig. 282).

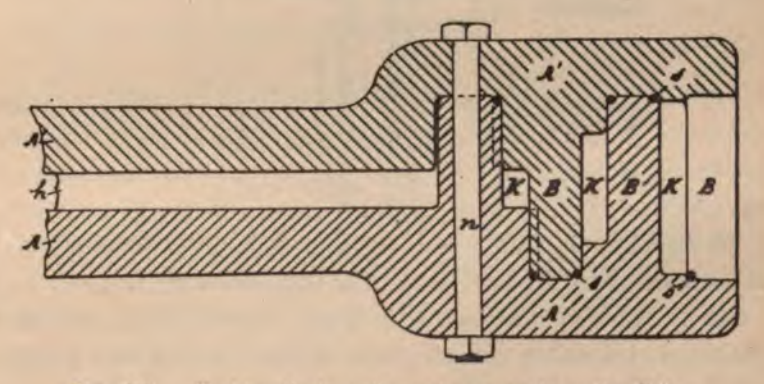


Fig. 286. — Turbine *Husberg*. Coupe transversale *zz* (fig. 284).

L'arbre L porte des bagues coniques *l*, qui tournent dans un compartiment rempli d'une matière pulvérisée plus ou moins comprimée par les vis *tt*.

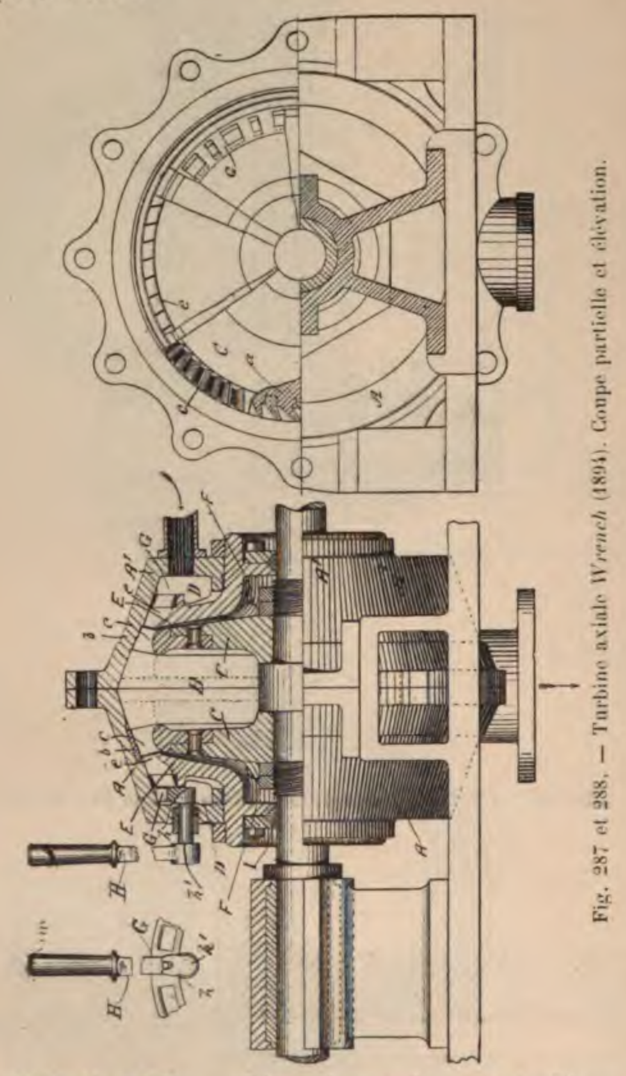


Fig. 287 et 288. — Turbine axiale *Wrench* (1894). Coupe partielle et élévation.

W.-G. Wrench, 1894. — L'enveloppe de cette turbine est formée de deux demi-coquilles A et A′ (fig. 287 à 290).

Sur l'arbre, se trouvent calés deux disques C, C, portant à la périphérie les aubes réceptrices *c*. A l'extérieur de ces disques, il y a deux disques fixes EE, portant les aubes distributrices *e*.

Un écran à jour G, placé devant les ouvertures distributrices, peut être déplacé par le levier H ou par un régulateur centrifuge, pour masquer plus ou moins ces ouvertures et régler ainsi l'admission de la vapeur.

La vapeur arrive dans l'espace annulaire D et pénètre dans les aubes *c*, laissées plus ou moins ouvertes suivant la position du disque G. Par ces aubes, elle est dirigée sur les aubes réceptrices *c* du disque C, et, après leur avoir communiqué le mouvement, s'échappe par B à l'air ou au condenseur.

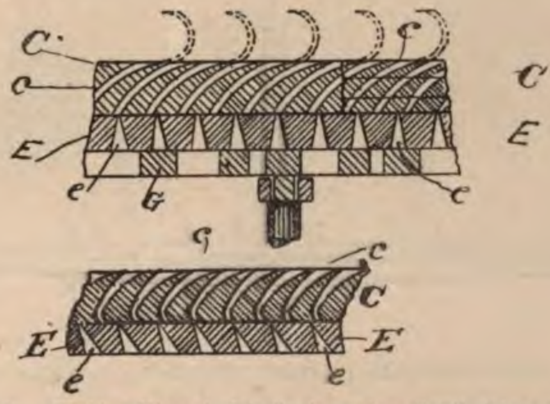


Fig. 289 et 290. — Turbine *Wrench*. Détails des aubes distributrices et réceptrices.

Les aubes des deux disques C,C peuvent être disposées de façon que la vapeur leur imprime simultanément le même mouvement, ou, au contraire, suivant qu'elle aura été dirigée sur l'un ou l'autre des disques, qu'elle communique à l'arbre le mouvement tantôt dans un sens, tantôt dans le sens opposé.

Bollman, 1894. — La figure 291 représente l'appareil où se produit le mélange de l'air avec de la vapeur pour diminuer la vitesse de l'écoulement de cette dernière. A est un disque plat au bout d'un tube *a*, B est un second disque. Si A se trouve au-dessus de B, et qu'un fort courant d'air passe par *a*, B ne se trouvera pas éloigné de A, comme on pourrait s'y attendre, mais, au contraire, attiré vers A, même si l'on y attache un poids.

Lancé à une certaine vitesse, l'air tendra à la conserver telle qu'il l'avait dans le tube ; mais, la surface du passage entre les

plateaux augmentant vers les extrémités, cette vitesse ne pourra être maintenue qu'à la condition que l'air se détende au-dessous de la pression atmosphérique. Il se produit ainsi un vide, et la pression extérieure pousse B vers A.

La vapeur entrant par *a* s'échappe radialement d'entre deux plateaux A et B, sur toute leur circonférence, et, en se détendant, communique sa force vive à l'air aspiré JJ, qu'elle entraîne vers l'ouverture G.

La distance entre les plateaux A et B et les ouvertures pour

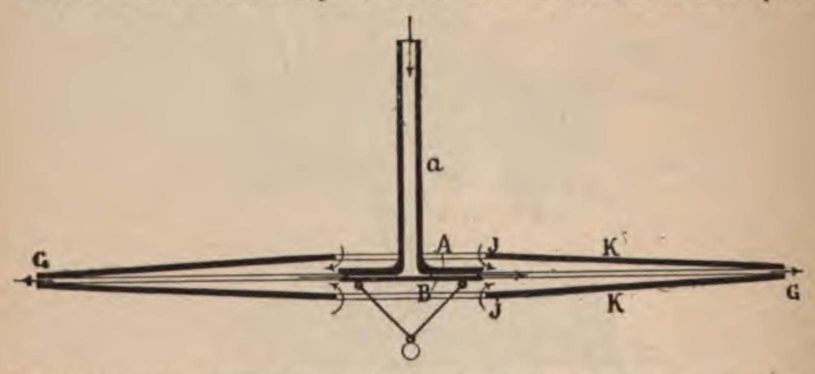


Fig. 291. — Turbine axiale *Bollmann* (1894). Détail de l'appareil d'amenée de vapeur.

l'admission de l'air JJ peuvent être réglées à volonté, et, par conséquent, la vitesse d'écoulement du mélange.

Les figures 292 et 294 représentent une turbine où le mélange ainsi produit est lancé en un flux centripète dans une série des roues concentriques à aubes. La roue L porte les aubes distributrices; T′ T″ T‴ sont trois roues à aubes, dont deux, T′ et T‴, tournent dans un sens et la troisième, T″, dans un sens opposé.

Les roues T′ T″ sont fixées sur l'arbre creux *x*, tandis que T″ est fixée sur l'arbre W.

Le fluide, au lieu d'être dirigé radialement, peut l'être axialement sur une série de roues à aubes.

Piguet, 1894. — Le mode de fonctionnement qui consiste à réduire la vitesse de la masse appelée à travailler sur la turbine, en communiquant la puissance vive du jet de vapeur à une masse plus dense que ce jet, a fait l'objet de recherches de M. Piguet.

La figure 294 représente le dispositif appliqué aux turbines à vapeur.

On fait passer le jet de vapeur par un conduit à busettes *e*, où le liquide accède latéralement, comme l'indique la flèche *e*, de

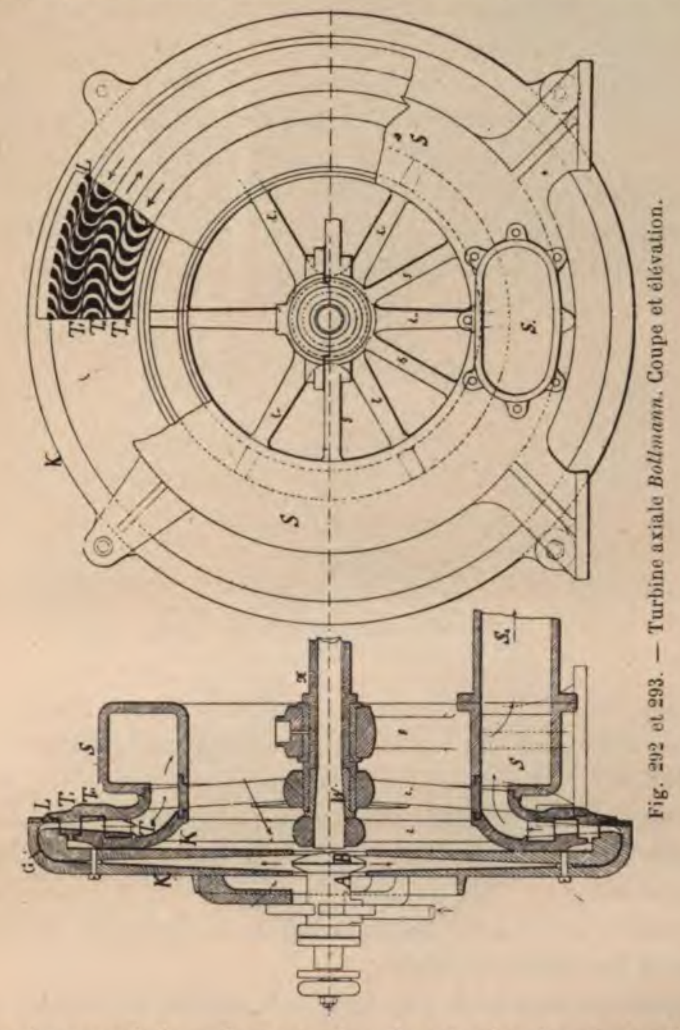


Fig. 292 et 293. — Turbine axiale *Bollmann*. Coupe et élévation.

manière à recevoir la puissance vive du jet primaire et constituer un véritable injecteur I terminé par l'ajutage biconique *a*, à cône convergent et divergent.

Le mélange réglable à volonté est projeté par l'injecteur sur les aubes de la turbine *r*.

Hopkins, 1894. — L'arbre A, maintenu dans un châssis B, porte la turbine C, composée de deux disques symétriques *aa'*, munis des moyeux *bb*, et évasés à la périphérie, comme l'indique la lettre *d*, sur la coupe transversale, figure 297.

La figure 295 est une élévation et la figure 296 la vue intérieure d'un disque.

Les deux disques *aa'* sont serrés l'un contre l'autre et contre le rebord *f* de l'arbre A par un écrou *e*. Etant donnée leur forme particulière, il existe à la périphérie une sorte de jante elliptique *d*, coupée par une série des ailes *hh*, laissant un espace annulaire *g* et une ouverture *j* pour le passage du plateau D, qui porte l'ajutage E, et le tuyau K d'admission de vapeur.

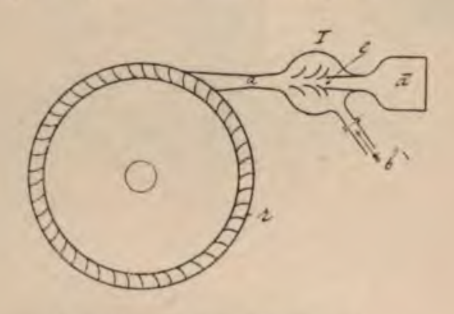


Fig. 294. — Dispositif Piguet (1894).

L'ajutage E a une forme cylindrique, comme l'indiquent les figures 298 et 299. La vapeur entre par le tuyau *k*, remplit l'espace annulaire *l*, et s'échappe par l'ouverture circulaire *m*, dont on peut régler la largeur en serrant plus ou moins le boulon *ors*, pour frapper sur les palettes *hh*, et mettre en mouvement les deux disques *aa'*.

Il peut y avoir deux ou plusieurs de ces ajutages, comme l'indiquent les traits pointillés.

Quand on veut avoir une turbine à marche réversible, on emploie des ajutages doubles (fig. 300 et 301). La vapeur, arrivant par *k* et lancée par l'ouverture circulaire *m*, entraîne la turbine dans un sens, tandis que l'admission se faisant par *k'* et le jet étant lancé par l'ouverture *m'*, la turbine tourne dans un sens opposé.

Ferranti, 1895. — Ferranti a breveté en 1895 la turbine représentée par les figures 302 à 308, dans laquelle la vapeur amenée, on ne dit pas comment, jusqu'à la pression du condenseur, par

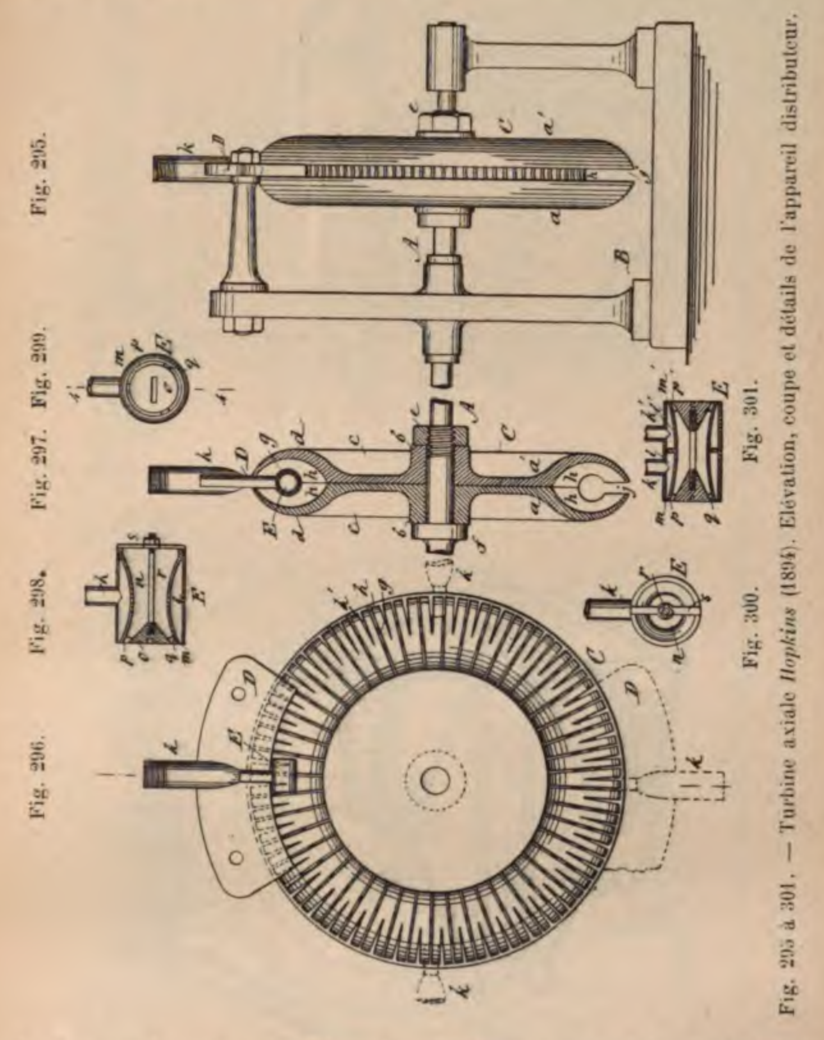


Fig. 295 à 301. — Turbine axiale *Hopkins* (1894). Élévation, coupe et détails de l'appareil distributeur.

plusieurs tubes *d*, parallèles (fig. 302) ou tangentiels (fig. 305) à l'axe de la roue *c*, passe successivement au travers d'une série d'aubes directrices *aa*, solidaires de *c*, puis d'une série d'aubes fixes *bb*, solidaires de l'enveloppe de la turbine. Le courant de vapeur, ainsi renvoyé des réceptrices aux directrices avec des

vitesses graduellement décroissantes, s'échappe des dernières réceptrices a avec une vitesse relative très faible.

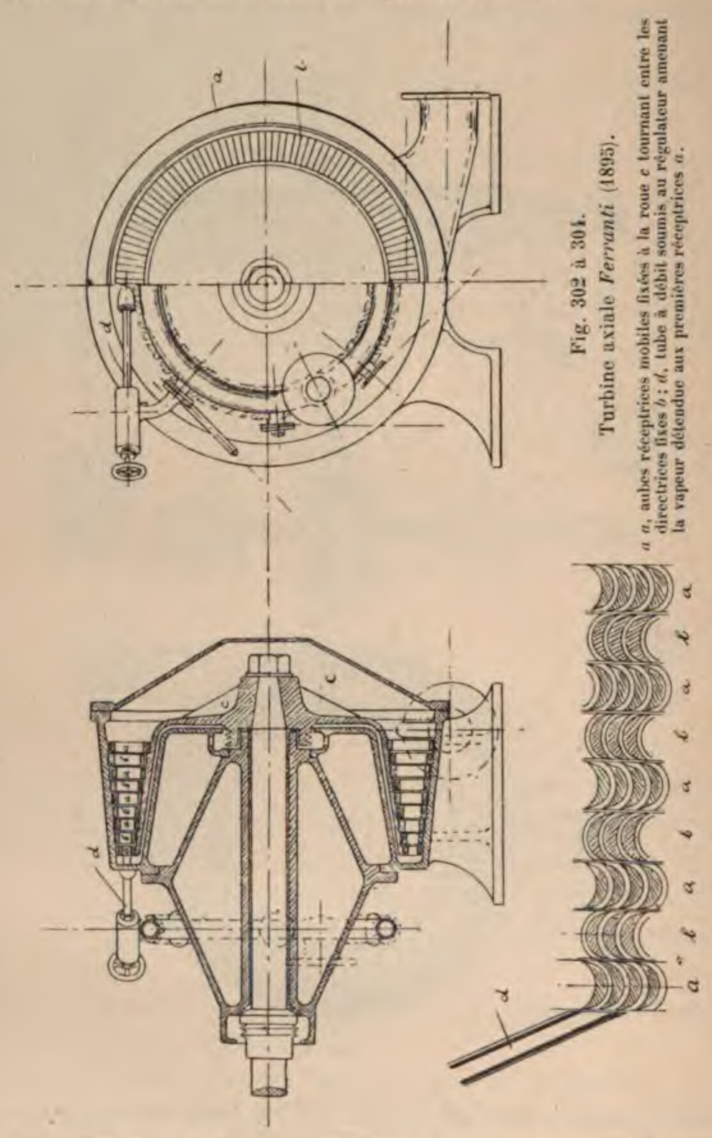


Fig. 302 à 304.
Turbine axiale *Ferranti* (1895).

a a, aubes réceptrices mobiles fixées à la roue c tournant entre les directrices fixes b ; d, tube à débit soumis au régulateur amenant la vapeur détendue aux premières réceptrices a.

Curtis, 1896. — C'est une turbine compound constituée par des ajutages G amenant la vapeur sur un disque mobile à deux rangées d'aubes réceptrices g, séparées l'une de l'autre par une couronne d'aubes directrices h (fig. 309).

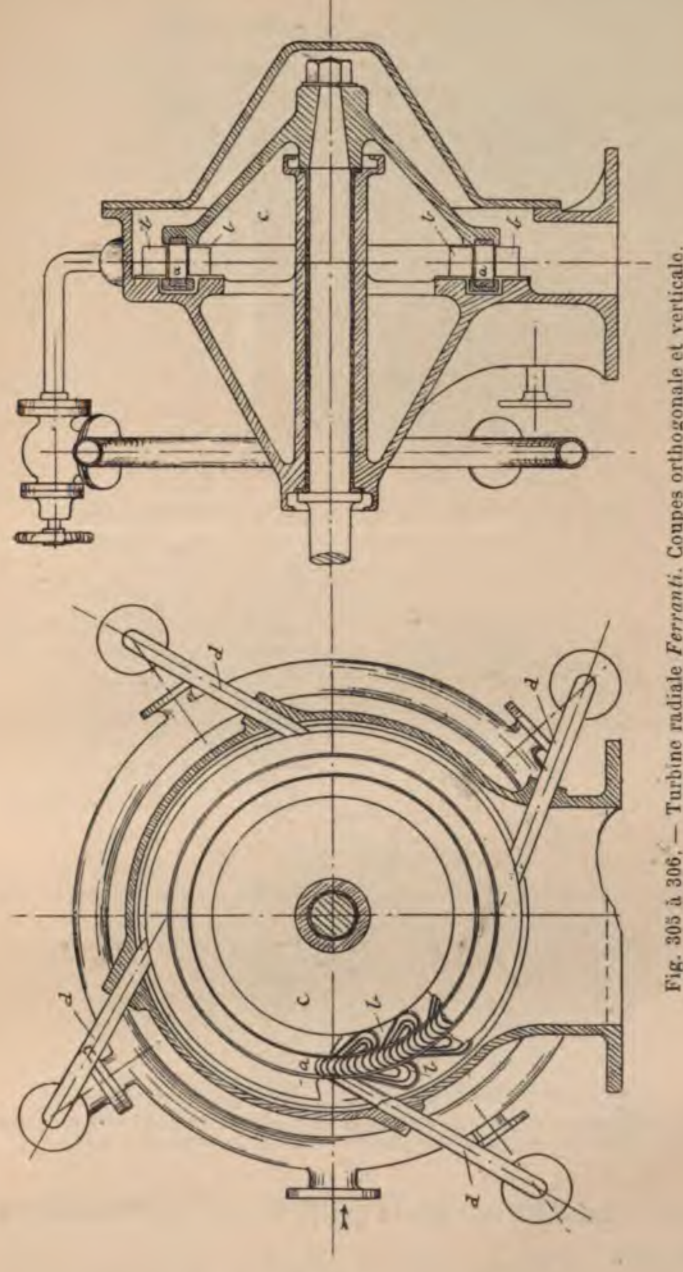


Fig. 305 à 306. — Turbine radiale *Ferranti*. Coupes orthogonale et verticale.

La détente de la vapeur et l'utilisation de sa force vive dans cet

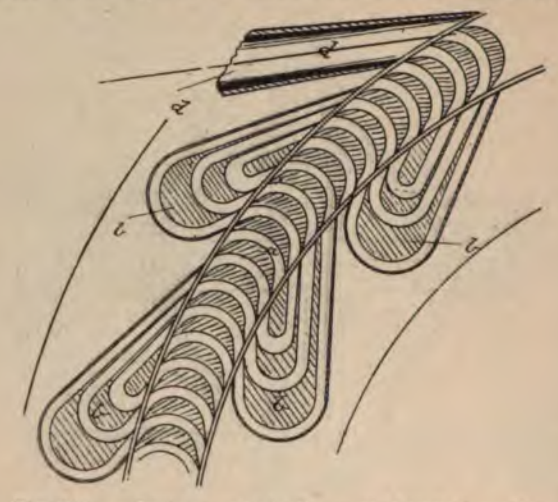


Fig. 307. — Turbine radiale *Ferranti*. Détail des aubes.

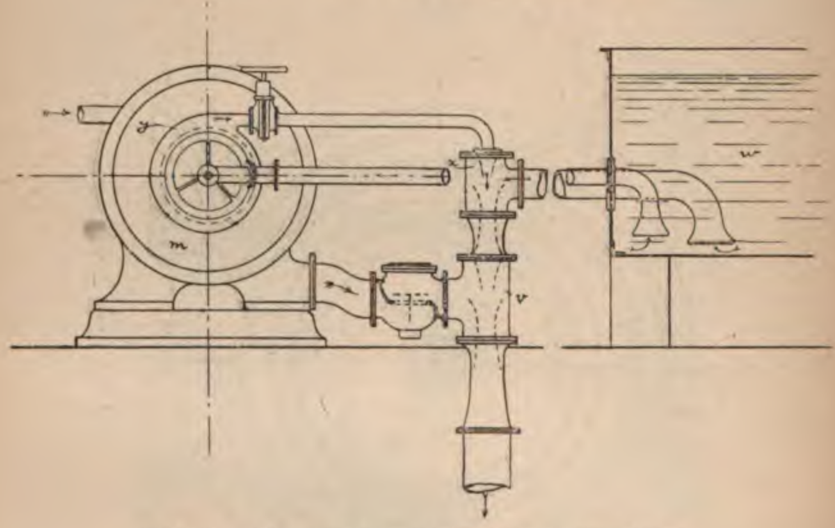


Fig. 308. — Turbine *Ferranti*. Ensemble de l'installation.
m, turbine échappant sa vapeur dans un éjecteur condenseur *v*, qui aspire en *w* l'eau entraînée en partie par un jet d'eau sous pression fourni en *x* par la pompe rotative *y*.

appareil représente une phase qui peut être répétée deux ou plusieurs fois.

La figure 310 représente une turbine à deux détentes successives. Chaque compartiment comporte ses ajutages distributeurs

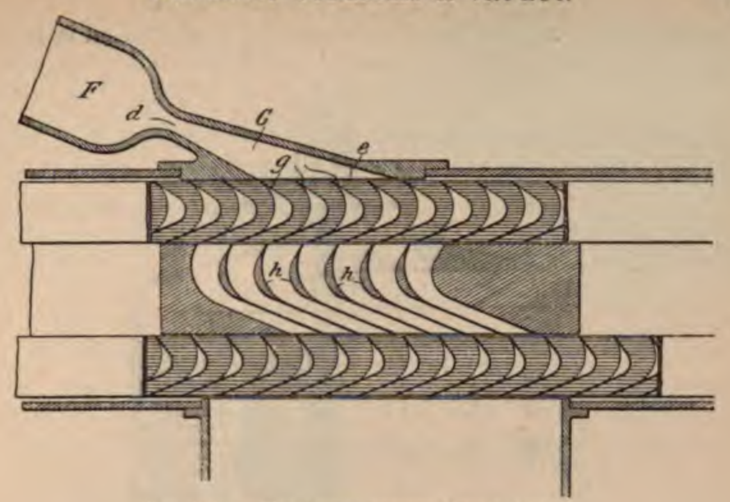


Fig. 309. — Turbine à vapeur *Curtis* (1896).

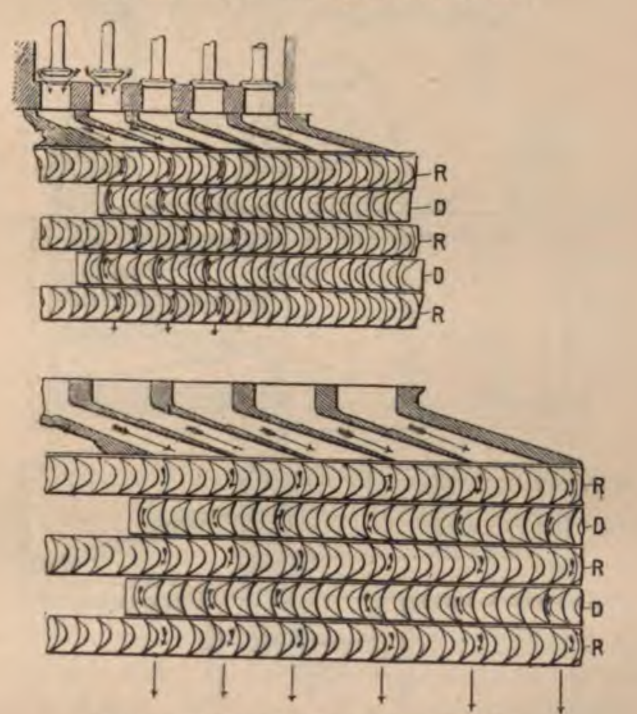


Fig. 310. — Turbine *Curtis* à deux détentes.

et comprend des disques mobiles R à trois rangées d'aubes réceptrices alternant avec les couronnes d'aubes directrices fixes D.

La figure 311 représente un groupe électrogène dont la turbine

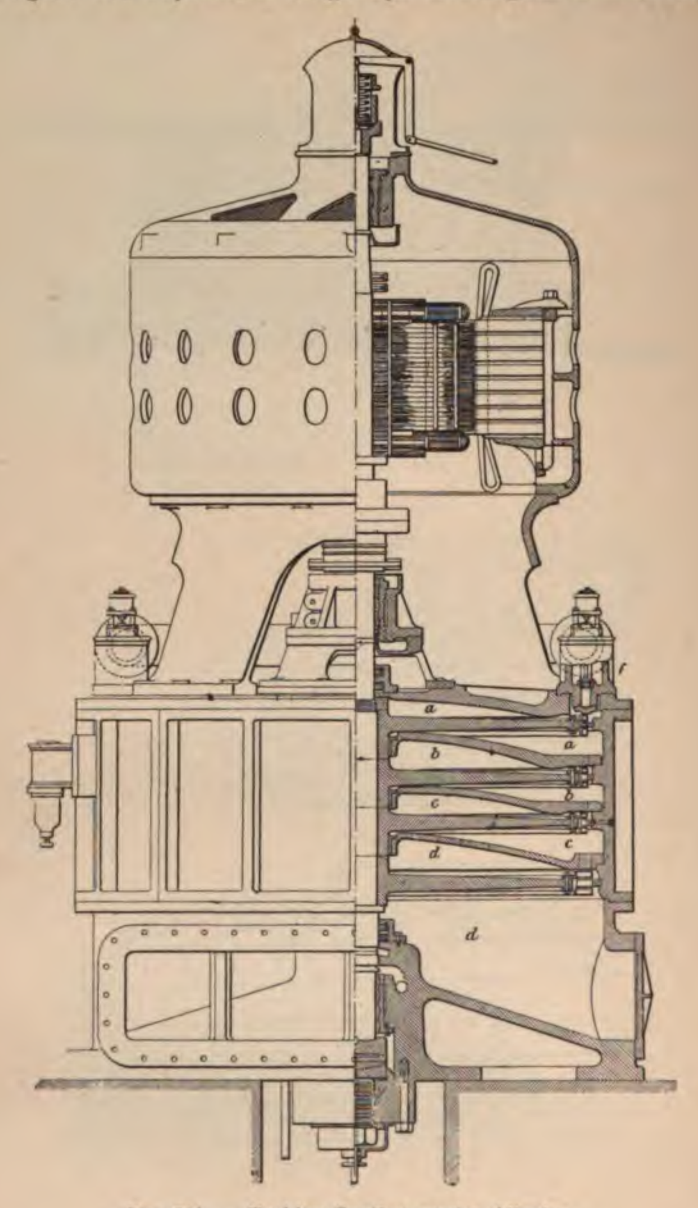


Fig. 311. — Turbine *Curtis* à quatre détentes.

est à quatre détentes successives. Chaque compartiment en plus de ses ajutages propres comporte un disque mobile à deux rangées

d'aubes réceptrices séparées par une couronne d'aubes directrices fixes.

Comme le représente la figure 312, les aubes réceptrices A, B et C des turbines Curtis actuelles sont symétriques, alors que les aubes directrices sont dissymétriques.

Les angles d'entrée et de sortie des premières croissent pro-

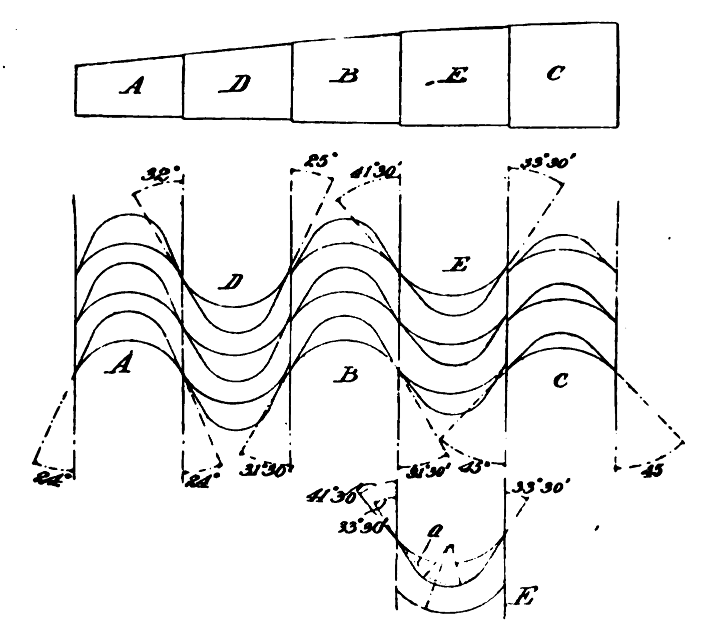


Fig. 312. — Détail des aubes de la turbine *Curtis* (1903).

gressivement de 24° à 31°30′ et 45°. Les angles d'entrée de directrices sont respectivement de 32° et 41°30′ et ceux de sortie 25° et 33°30′.

Huber, 1897. — L'espace annulaire compris entre A et A^1 est rempli de plomb maintenu fondu par la chaleur de l'enveloppe A et celle de la vapeur à très haute pression admise par G H F^1 et F^2 f^2 F. Cette vapeur chasse le plomb entre les aubes D de la turbine E, puis s'échappe par I et le plomb revient dans l'espace annulaire entre F et F^1 circulant indéfiniment suivant les flèches (fig. 313).

Lundell, 1898. — La vapeur admise par P et V aux ajutages n_1 n_2 passe des détendeurs NN_1 aux aubes W, puis à l'échappement E. Une partie de cet échappement revient en NN_1 aspiré par les jets n_1 n_2 (fig. 314 et 315).

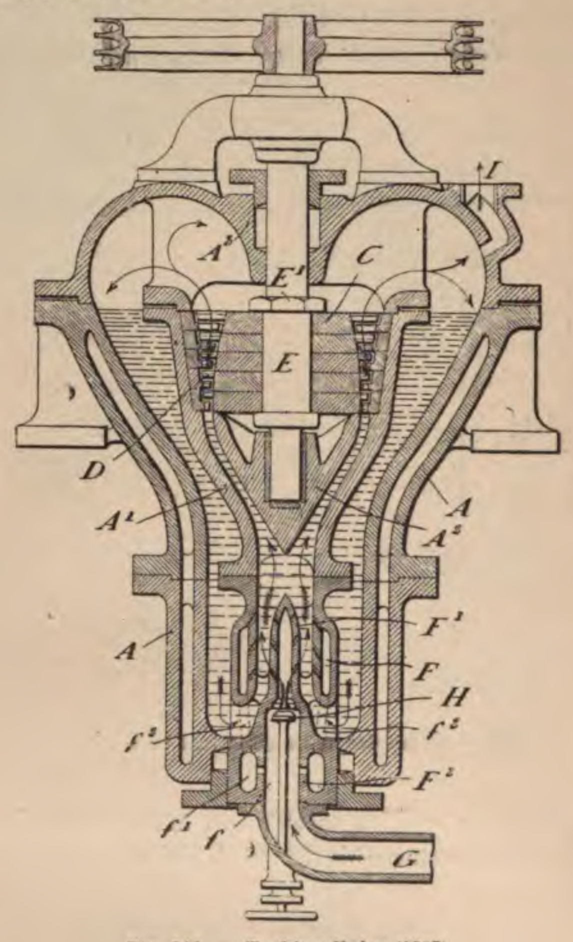


Fig. 313. — Turbine *Huber* (1897).

Thorssin, 1898. — La vapeur admise par 2 et 9 passe aux ajutages 5 qui par les tubes 7 aspirent l'eau de 8 et projettent le mélange d'eau et de vapeur sur les aubes de la turbine 11, d'abord radiales, puis parallèles à l'axe 3 et qui, allant en s'élargissant vers 8, y ramènent l'eau, l'excès d'eau et de vapeur s'échappant par 15 (fig. 316 et 317).

Rateau, 1898. — En 1898 M. Rateau dépose un brevet pour une turbine à disques multiples (fig. 318 à 319).

Elle se compose d'une série de distributeurs fixes et de roues réceptrices mobiles.

Le premier distributeur B′ est constitué par une série d'ailettes fondues ou rapportées qui occupent une portion de la circonférence intérieure de l'enveloppe D.

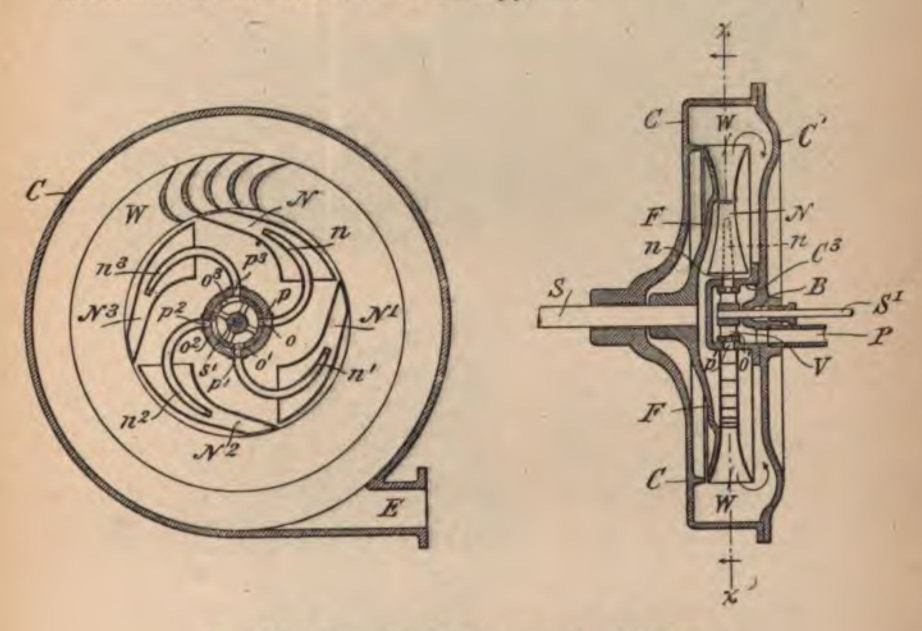


Fig. 314 et 315. — Turbine à vapeur *Lundell* (1898).

Le premier disque rotatif C′ comme les disques suivants est constitué par un moyeu claveté sur l'arbre, et sur lequel se trouve rivé un disque conique C′ en acier embouti. La périphérie de ce disque est pliée parallèlement à l'axe, les ailes courbes C′ elles-mêmes constituées par de l'acier embouti sont rivées sur cette circonférence.

Au sortir des ailes du premier disque C′ la vapeur rencontre les ailettes du second distributeur B². Ce distributeur, comme les suivants, est construit d'une manière autre que le premier, les ailettes sont rapportées à l'intérieur d'une pièce fondue fixée à la périphérie intérieure de l'enveloppe. Cette pièce se trouve réunie

par des bras transversaux à un moyeu b^2 qui entoure l'arbre sans le toucher, puisque le distributeur doit rester fixe. Ce moyeu b^2

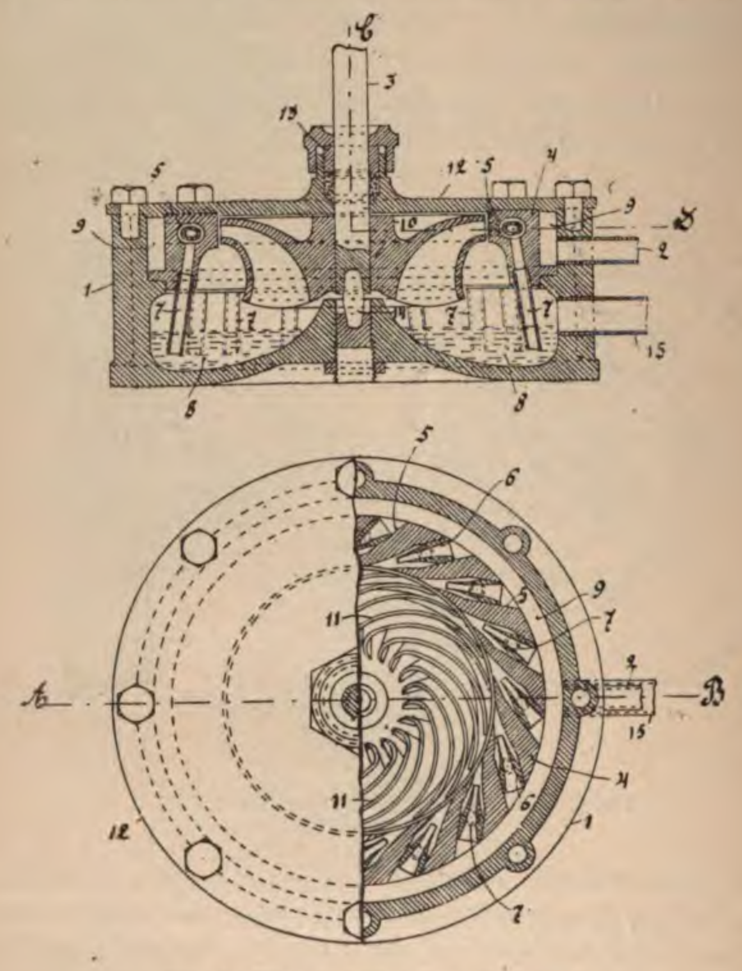


Fig. 316 et 317. — Turbine *Thorssin* (1898).

est réuni à la périphérie B^2 du distributeur par une tôle m^2 d'acier convenablement rivée.

Le second distributeur et les suivants constituent un véritable diaphragme dans le but de réduire au minimum les pertes de vapeur entre ces distributeurs et les roues réceptrices.

Schultz, 1898. — C'est une turbine à réaction à un simple corps (fig. 320) ou à deux corps : turbine à haute pression et à basse pression.

Elle est conçue en vue de marche dans les deux directions. Pour

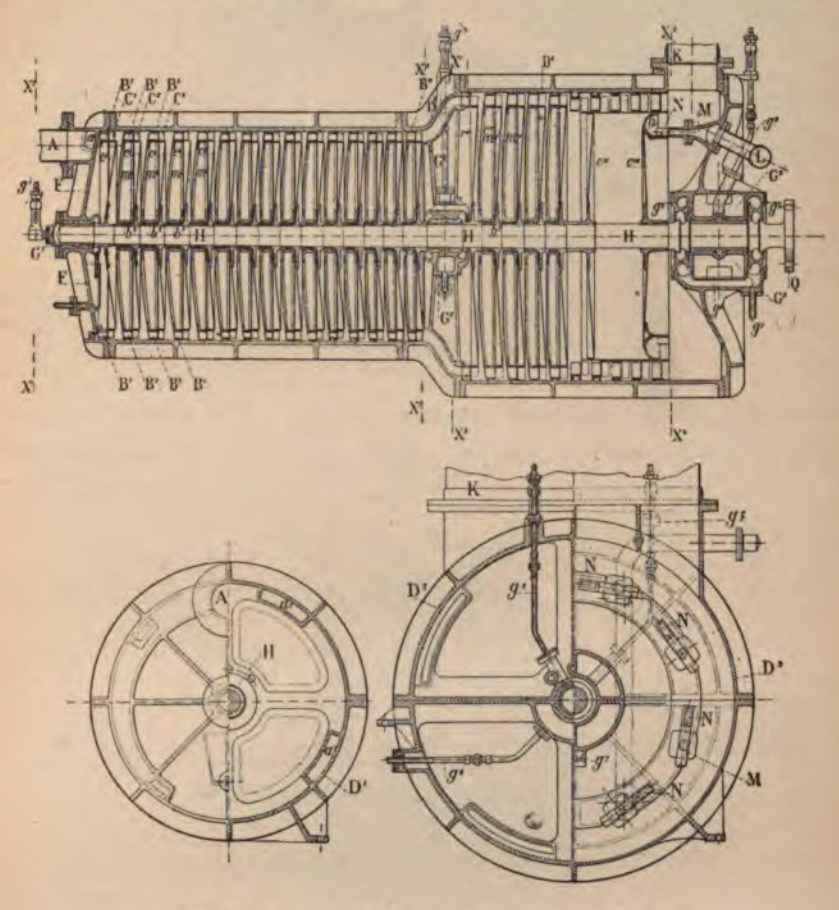


Fig. 318 et 319. — Turbine à vapeur *Rateau* (1898).

la marche avant la vapeur passe par V*abcd*, à travers les aubes T; pour la marche arrière elle suit le chemin R*ed* à travers les aubes T'.

La figure 321 représente une turbine radiale multiple.

Les ouvertures de premières couronnes distributrices 7 sont réglées par les vannages annulaires 8 commandés par des arbres 17, 18, 19.

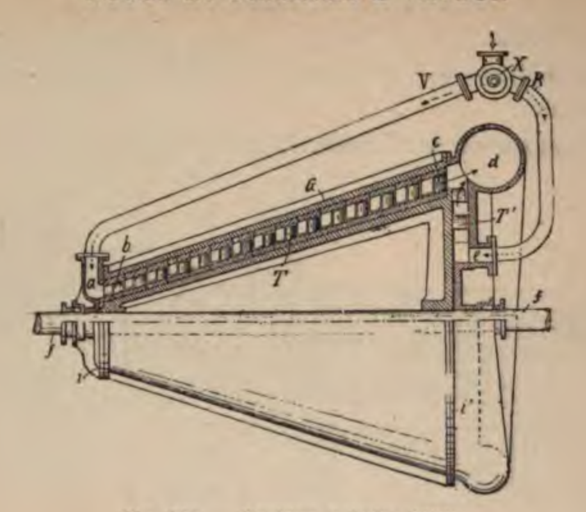


Fig. 320. — Turbine *Schultz* (1898).

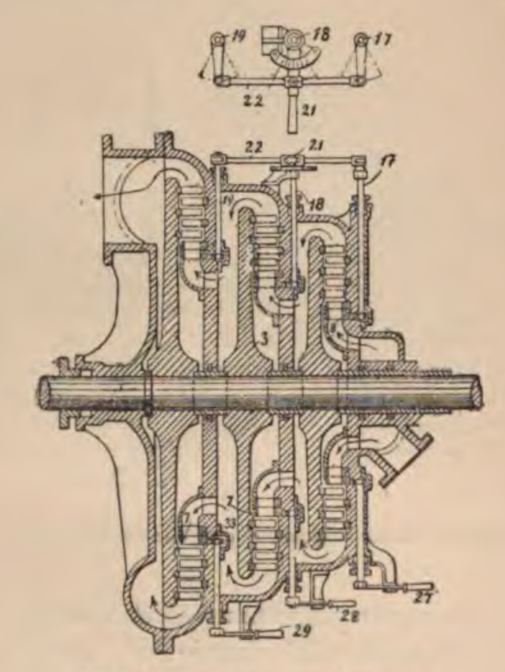


Fig. 321. — Turbine radiale *Schultz*.

Les aubes réceptrices sont marquées par 2 et les distributrices par 15.

Parsons, 1899. — La figure 322 représente une turbine axiale telle qu'elle est construite en dernier lieu.

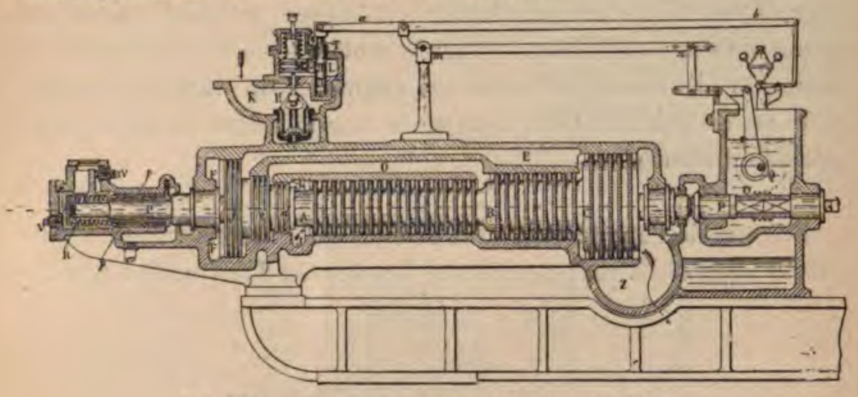


Fig. 322. — Turbine à vapeur axiale *Parsons* (1899).

Le cylindre présente, en général, trois parties de diamètre différent et, dans chacune de ces parties, la hauteur des ailettes va en croissant progressivement d'une couronne à la suivante.

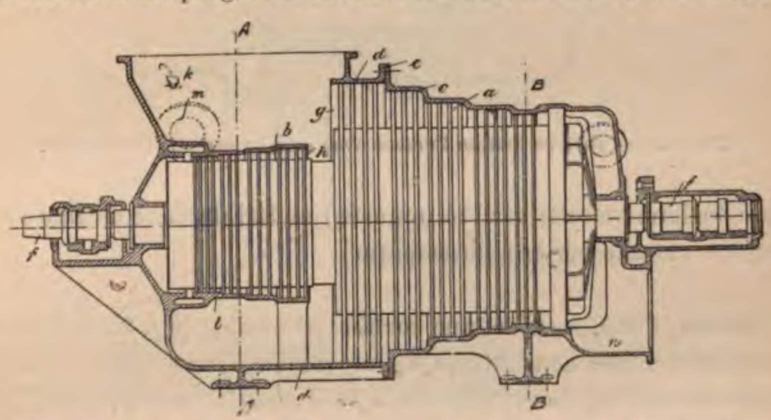


Fig. 323. — Turbine marine *Parsons* avec turbine marche arrière opposée.

Afin d'éviter la poussée longitudinale, le cylindre moteur porte à son extrémité opposée trois pistons de diamètre correspondant à ceux de la turbine, et dont la face interne est en communication directe avec les trois étages d'ailettes, de façon à être soumis à la même pression, mais en sens inverse.

L'admission de la vapeur a lieu par intermittences, obtenues au

moyen d'une soupape équilibrée soumise, par l'intermédiaire d'un petit piston formant servo-moteur, à l'action constante du régulateur. Celui-ci — un régulateur centrifuge actionné au moyen d'une vis sans fin calée sur l'arbre moteur — commande, par un levier, le piston servo-moteur qui augmente ou diminue l'amplitude des oscillations de la soupape et par là même la durée de la période d'admission.

En vue de l'application à la propulsion Parsons imagine plusieurs dispositifs représentés sur les figures 323 (turbine marine

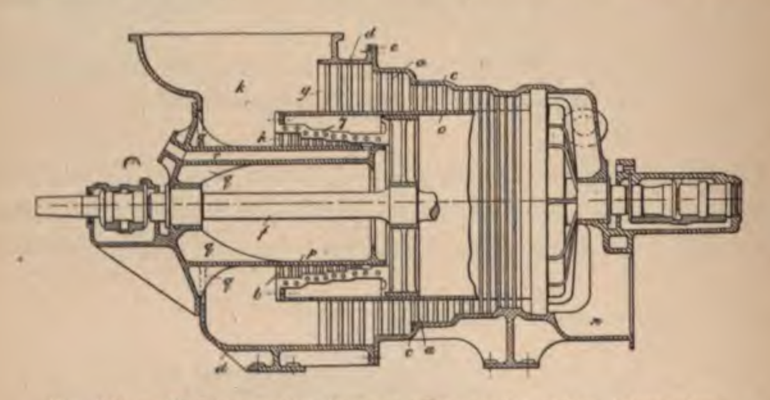


Fig. 324. — Turbine marine *Parsons* avec marche arrière télescopique.

avec turbine marche arrière opposée) et 324 (turbine marine avec turbine marche arrière télescopique).

Ashton, 1900. — C'est une turbine réversible (fig. 325). B et C sont deux arbres concentriques, le premier étant creux. L'enveloppe A contient deux turbines D et E montées sur l'arbre C par des paliers à billes.

A^7, A^8 et D^{17} sont des garnitures étanches.

Les embrayages D^3 et D^4 d'une part et E^3 et E^4, d'autre part, permettent d'accoupler les turbines : l'une avec l'arbre B, l'autre avec l'arbre C, ou inversement.

Quand la vapeur entre par A^2, elle repousse D et E à gauche de manière à embrayer D avec B et E avec C.

Quand on admet la vapeur par A', ce qui lui fait fermer la sou-

pape D^{10}, elle repousse D et E à droite et fait embrayer D avec C et E avec B.

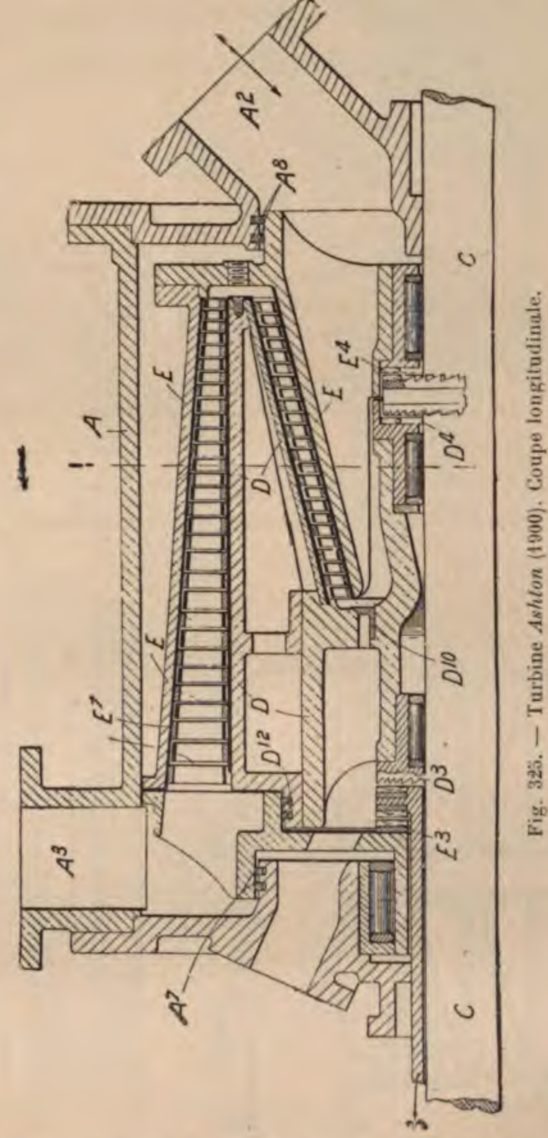


Fig. 325. — Turbine *Ashton* (1900). Coupe longitudinale.

Comme la vapeur fait tourner les turbines toujours dans le même sens, la marche des arbres B et C se trouve changée.

Par suite de l'admission de la vapeur tantôt en A^1, tantôt en A^2

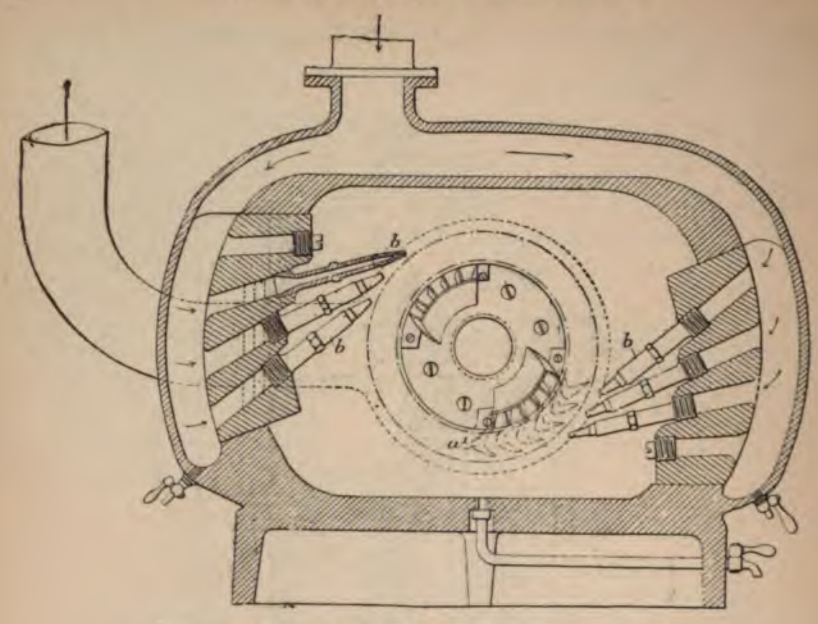


Fig. 326. — Turbine *Viale* (1900). Coupe transversale.

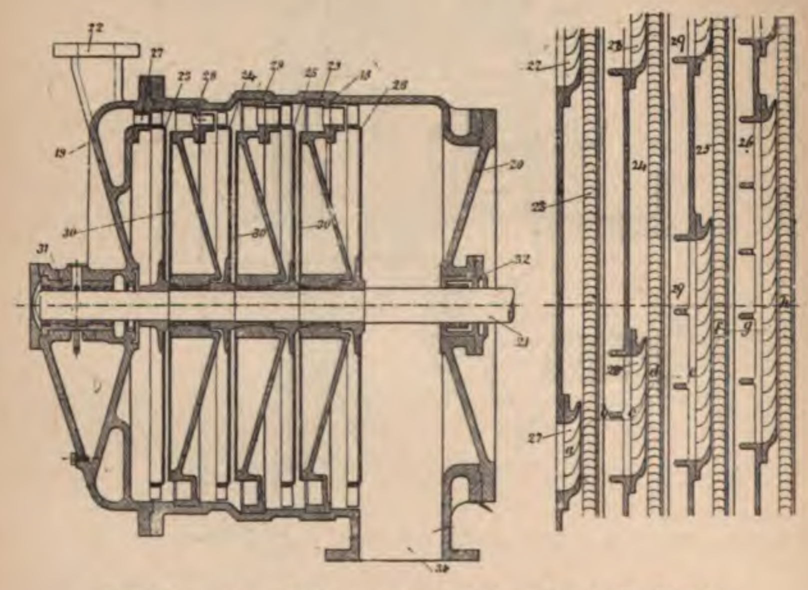


Fig. 327 et 328. — Turbine à vapeur *Rateau-Sautter-Harlé* (1901)

sa poussée change en même temps que celle des hélices dont la

marche est renversée. Il y a ainsi opposition de deux effets tendant à l'équilibre.

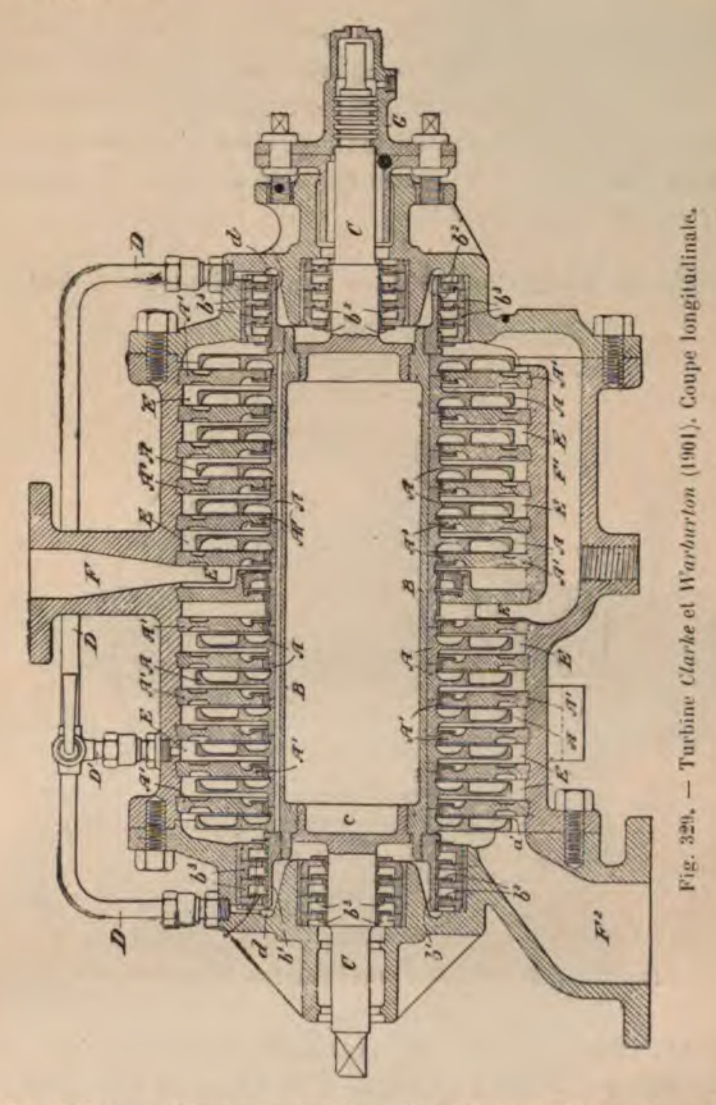


Fig. 325. — Turbine *Clarke* et *Warburton* (1901). Coupe longitudinale.

Viale, 1900. — C'est une turbine d'action centripète (fig. 326). La vapeur amenée par les ajutages *bb* est dirigée sur les aubes *a'* et s'écoule latéralement en se rapprochant du centre de la roue pour s'échapper par des conduits placés dans le prolongement des aubes.

L'arbre est articulé, à joint de cadran à chacune de ses extrémités.

Rateau-Sautter-Harlé, 1901. — Les corps de roues sont constitués par des disques en tôle avec jante en U sur laquelle sont rivées les aubes. Les distributeurs sont constitués par des aubes fixes montées sur des plateaux en fonte et elles couvrent des arcs de plus en plus étendus à mesure que l'on s'éloigne de l'admission de la vapeur (fig. 327 et 328).

Clarke et Warburton, 1901. — Les distributeurs A' font partie

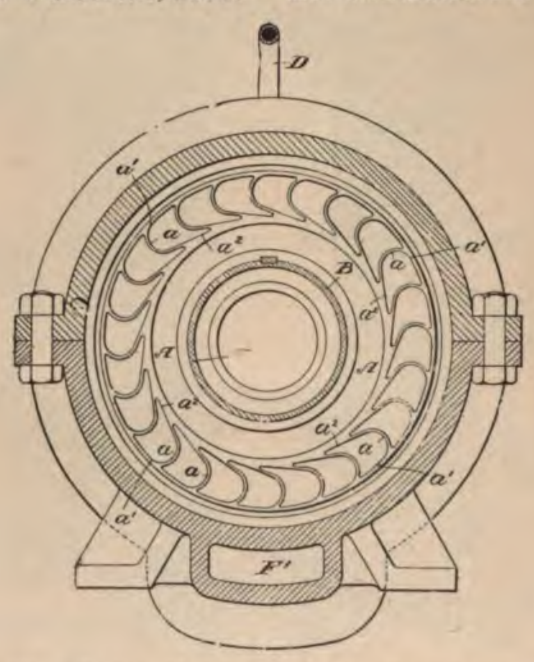


Fig. 330. — Turbine *Clarke* et *Warburton*. Coupe transversale.

de l'enveloppe de la machine. Les couronnes d'aubes réceptrices A sont fixées sur le tambour creux B et disposées symétriquement des deux côtés de l'arrivée de vapeur FE, ce qui permet d'égaliser les poussées longitudinales. L'échappement est en F_2.

Le tuyau D en communication par *d* avec chaque bout d'arbre CBC recueille les fuites des butées et les renvoie à la circulation de la turbine.

Breguet-de Laval, 1902. — C'est une turbine d'action à disques multiples du type axial et à injection totale.

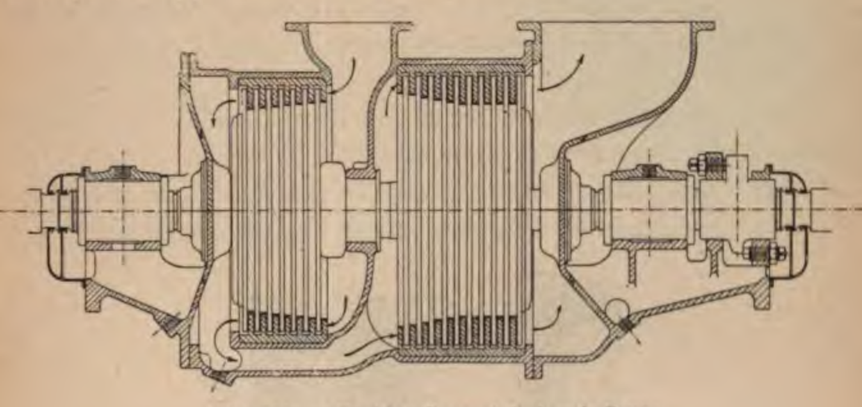


Fig. 331. — Turbine *Breguet-de-Laval*. Coupe.

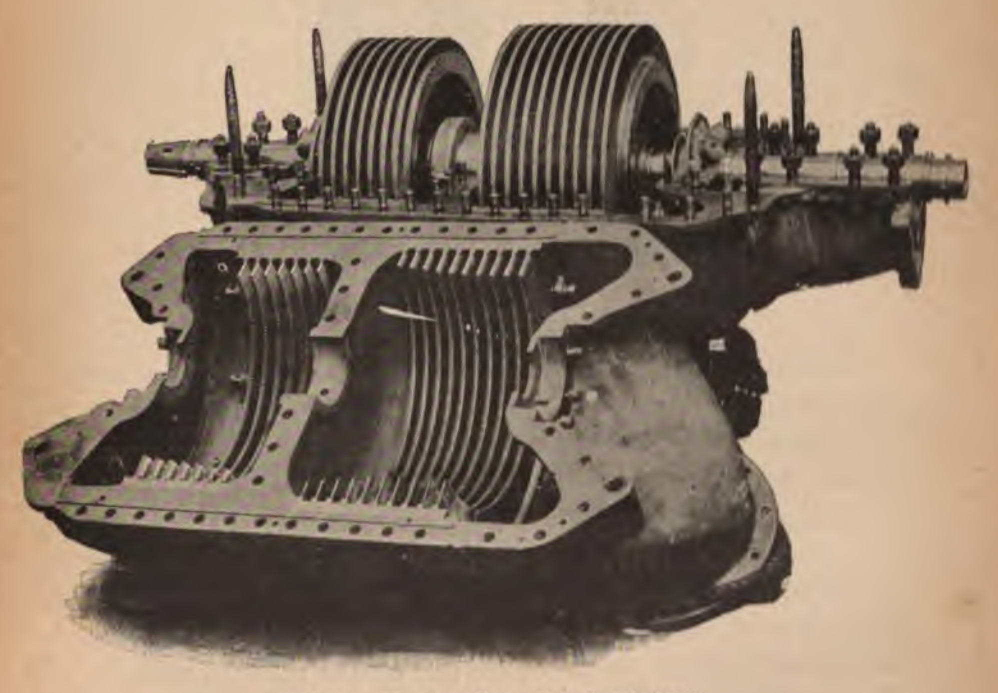


Fig. 332. — Turbine *Breguet-de Laval* (1902).

Elle comporte deux ou plusieurs séries de disques mobiles de diamètres croissants montés sur l'arbre moteur et portant les aubes

réceptrices alternant avec des couronnes d'aubes distributrices fixes.

Le régulateur du type centrifuge est monté directement sur l'arbre de la turbine et commande une soupape à clapets équilibrés.

Le graissage est effectué sous pression à l'aide d'une pompe sans clapet, commandée par la machine elle-même.

Les figures 331 et 332 représentent une turbine de ce type en coupe et en perspective, la partie supérieure étant démontée.

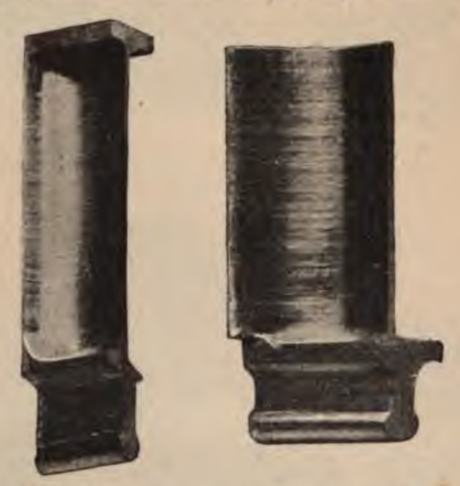


Fig. 333 et 334. — Aubes réceptrice et distributrice.

Les figures 333 et 334 représentent une aube réceptrice et une aube distributrice.

La figure 335 représente une turbine de ce type actionnant une dynamo à courant continu de 1.000 chevaux.

A. Turbine. — B. Dynamo à courant continu. — C. Arrivée de vapeur. — D. Soupape d'arrivée de vapeur. — E. Obturateur d'admission. — F. Échappement de vapeur. — G. Régulateur de vitesse. — H. Volant de réglage de la vitesse. — I. Pompe à huile, de graissage. — J. Collecteur d'huile sous pression. — K. Accouplement élastique. — L. Tachymètre. — Nombre de tours : 2.400.

La figure 336 représente le torpilleur de 1re classe n° 294 de la marine française, mû par lesdites turbines.

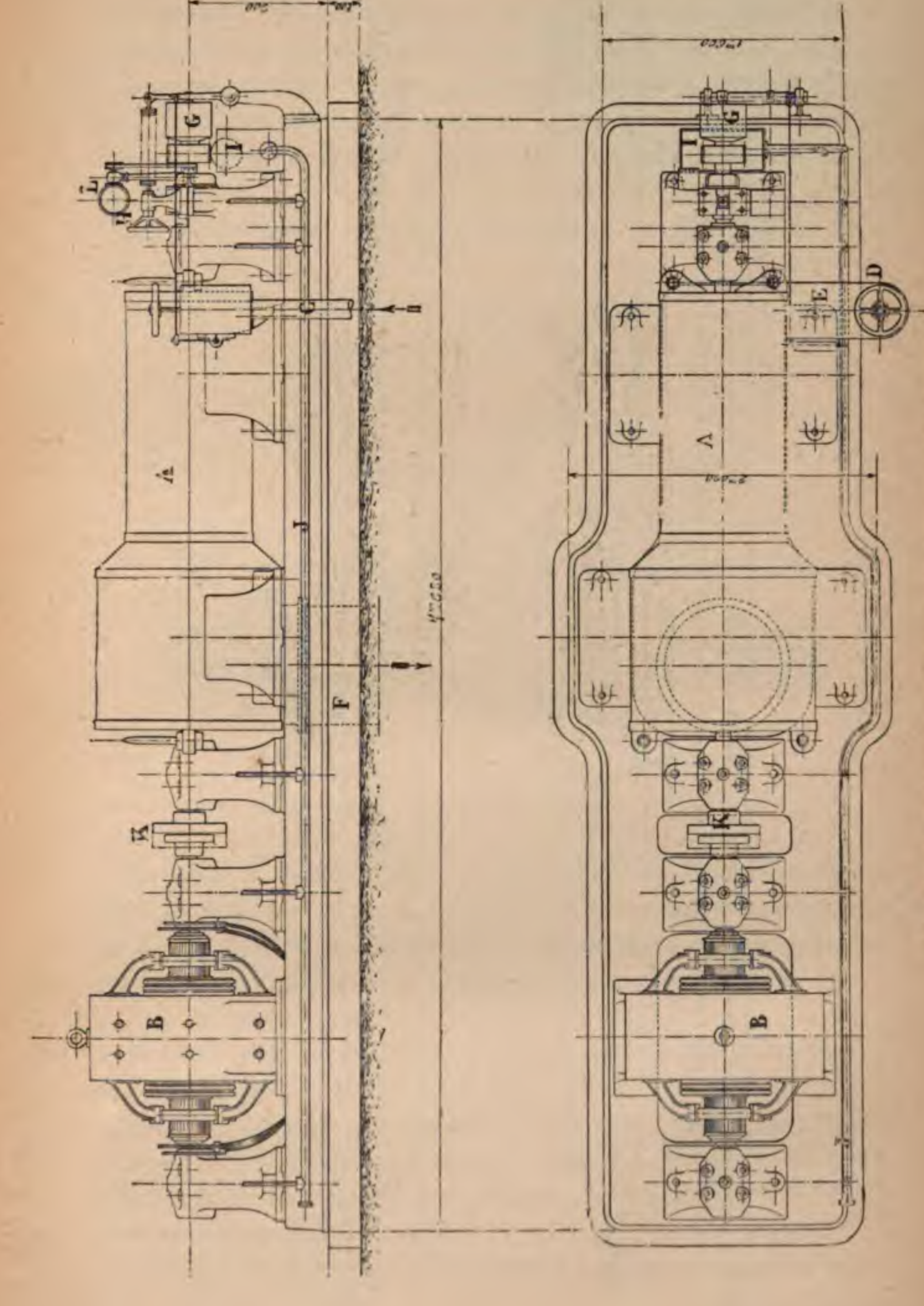


Fig. 335. — Turbine-dynamo *Breguet-de Laval* de 1.000 chevaux.

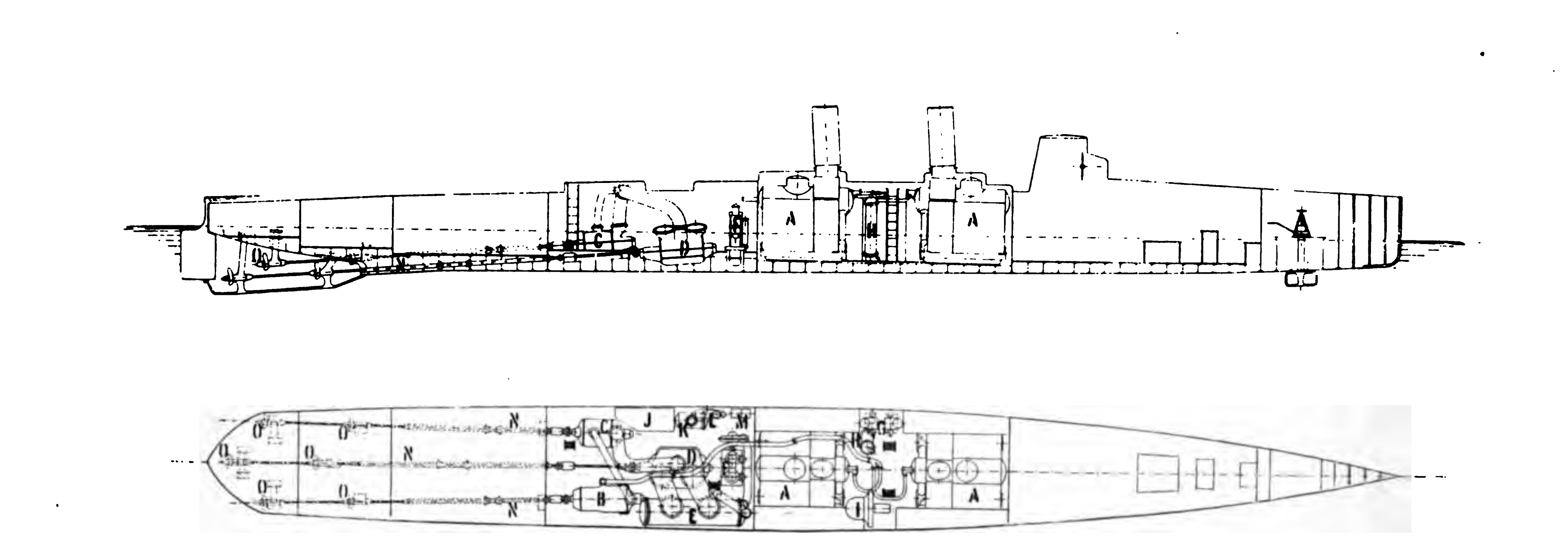


Fig. 336. — Torpilleur de 1re classe de la marine française mû par turbines *Breguet-de Laval*.

A. Chaudières. — B. Turbine à haute pression. — C. Turbine à moyenne pression. — D. Turbine à basse pression. — E. Condenseur à double circuit. — F. Pompes à air et de circulation. — G. Pompes alimentaires. — H. Réchauffeur d'eau d'alimentation. — I. Ventilateur de chauffe. — J. Caisse à eau douce de réserve. — K. Bouilleur-séparateur. — L. Pompe de service et de cale. — M. Dynamoteur. — N. Arbres de transmission d'hélices. — O. Hélices.

Brown-Boveri, 1902. — Ce dispositif a pour but de parer à l'inconvénient que présentent les turbines Parsons à marche lente au point de vue du réglage de l'admission de la vapeur.

Dans ces turbines, si leurs entrées de vapeur sont proportionnées pour une marche économique à charges réduites, le régulateur n'admet pas assez de vapeur pour la marche à pleine charge et *vice versa*.

La disposition Brown-Boveri consiste en ceci (fig. 337) :

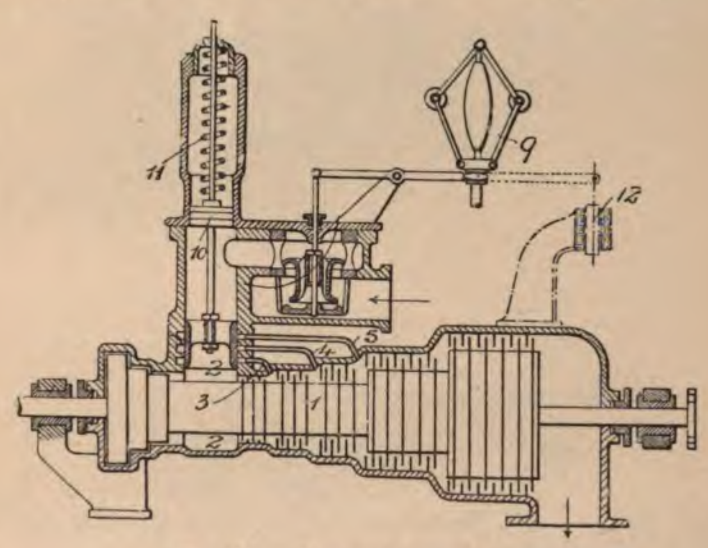


Fig. 337. — Dispositif *Brown-Boveri*.

La valve d'admission 2 envoie la vapeur aux différentes chambres de la turbine 1 par des conduits 3, 4, 5 dont les ouvertures sont réglées par le régulateur à force centrifuge 9 ou électrique 12, au moyen de la pression de la vapeur admise sous le piston 10.

Veichelt, 1902. — C'est une turbine centrifuge-centripète (fig. 338 et 339).

Le disque 2 porte une couronne d'aubes réceptrices 45. A l'intérieur et à l'extérieur de cette couronne se trouvent plusieurs chambres 21 de dimensions croissantes et formées de deux côtés par des disques fixes 25 et 26.

La vapeur amenée par 11 et le robinet 16 dans le premier com-

partiment intérieur 21, est dirigée en flux centrifuge sur les aubes réceptrices, d'où elle passe dans le compartiment exté-

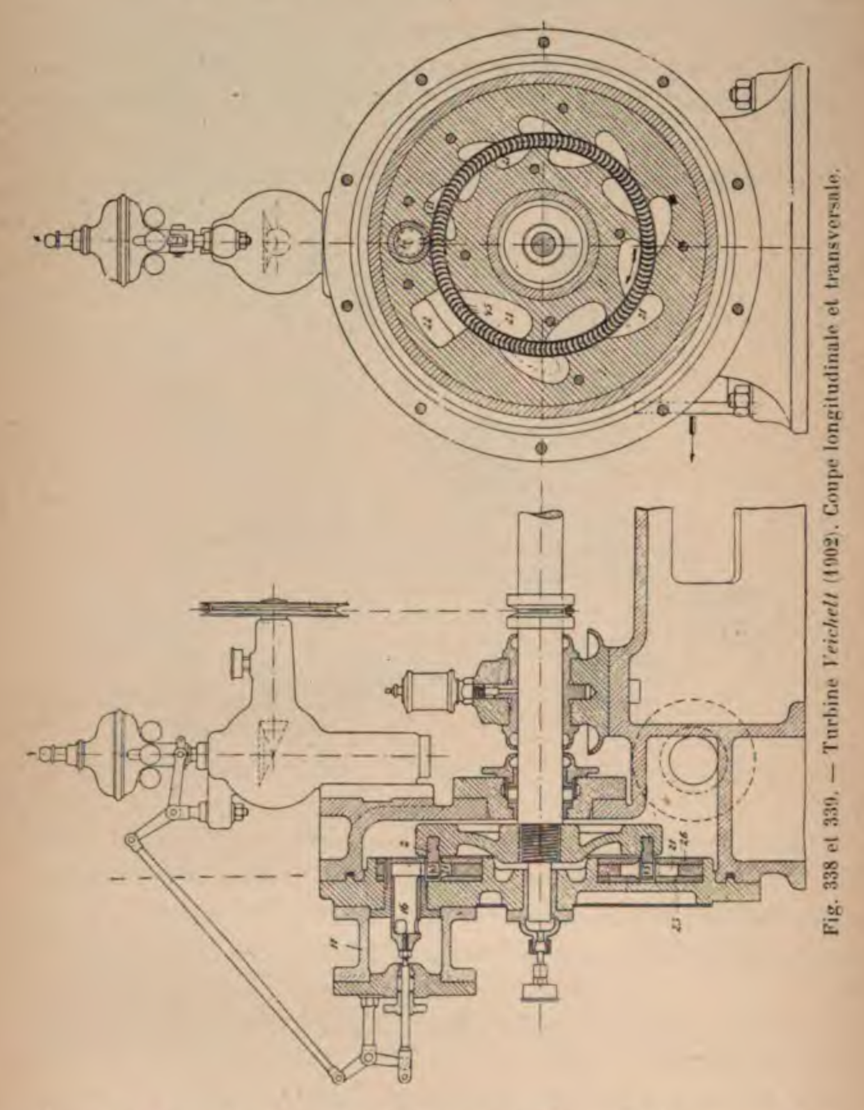


Fig. 338 et 339. — Turbine *Veichelt* (1902). Coupe longitudinale et transversale.

rieur 21, est de nouveau dirigée, en flux centripète, sur lesdites aubes, passe dans le compartiment intérieur suivant et ainsi de suite, en se détendant graduellement jusqu'à la sortie en 22.

Lindmark, 1902. — Le registre D étant complètement ouvert (fig. 340), si l'on admet dans la conduite A de la vapeur qui peut être maintenue par le réglage de la soupape B à une certaine pression, visible sur un manomètre relié à la lumière *a*, une quantité de vapeur dont le volume dépend de la pression de vapeur et de la section minima du canal C, s'écoule par le canal et le tuyau E. Le canal a une forme telle que le jet de vapeur, en le traversant, rencontre des sections qui vont constamment en augmentant,

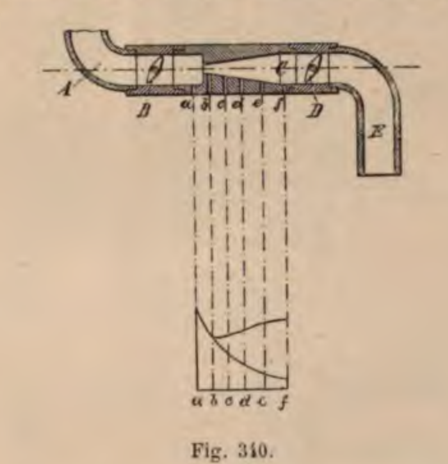


Fig. 340.

tandis que la divergence du canal est choisie de telle façon que le jet de vapeur ne trouve aucune opportunité de quitter les parois. Par conséquent le jet de vapeur ne se trouve pas soumis à une détente brusque et nuisible à l'énergie, pour atteindre les parois, mais il remplit bien le canal, sans s'y accumuler.

On voit que la pression de la vapeur dans la section minimum du canal (en *b*) vaut environ 58 p. 100 de la pression en *a*, et que la pression dans les sections *c*, *d*, *e*, *f*, diminue d'une manière continue depuis cette pression jusqu'à la pression de l'échappement, le tout ainsi que l'indique la courbe inférieure de la figure 327 qui représente les pressions *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*. On voit en outre que, lorsque la soupape D se trouve tournée à un certain degré vers la fermeture, la pression en *b* aussi bien que la quantité de vapeur qui passe, deviennent constantes, tandis que la pression dans les sections *c*, *d*, *e*, *f* augmente. On peut alors forcer la pression de

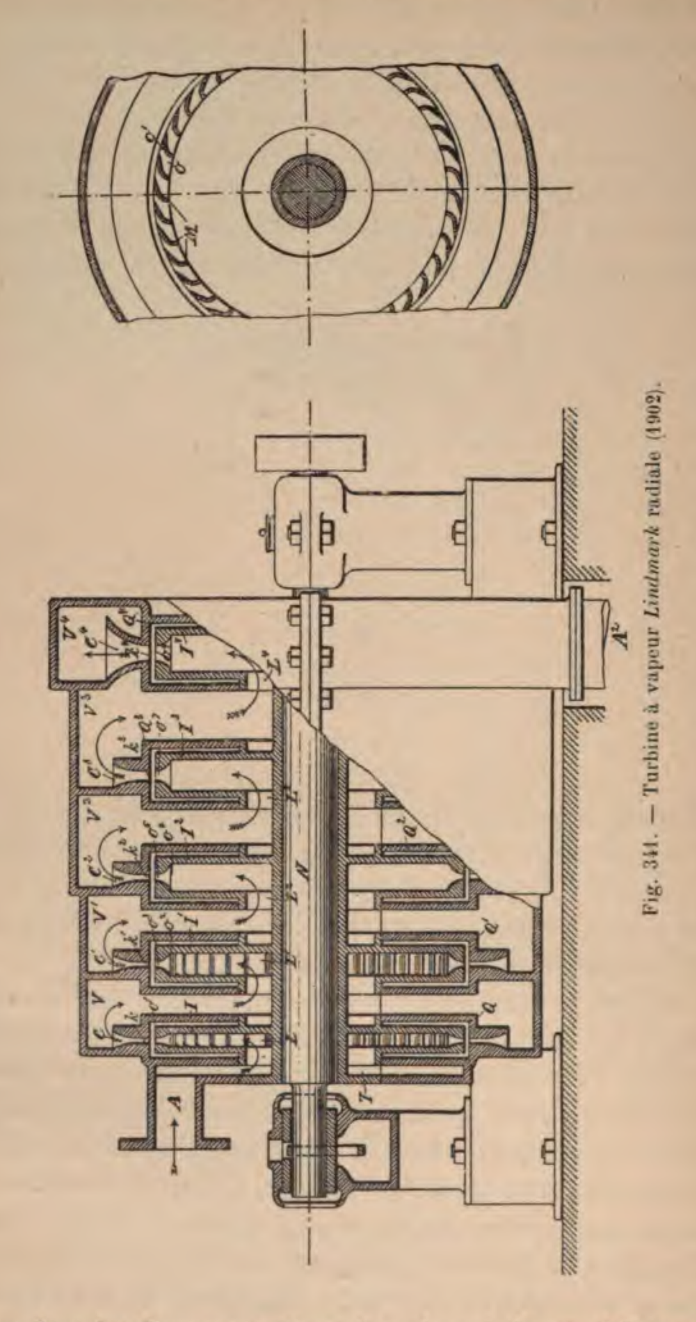


Fig. 341. — Turbine à vapeur *Lindmark* radiale (1902).

vapeur dans les diverses sections *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, du canal C, à suivre

la courbe supérieure de la figure 340, c'est-à-dire que la pression augmente en proportion de l'accroissement de section, de telle façon que la pression en *f* n'est que légèrement inférieure à la pression en *a*. Lorsqu'on continue à fermer la soupape D, de façon à diminuer la quantité de vapeur qui s'écoule, la pression augmente encore en *f*, mais en même temps en *b*, tandis qu'en *f* elle est toujours supérieure à celle en *b* et que la quantité de vapeur

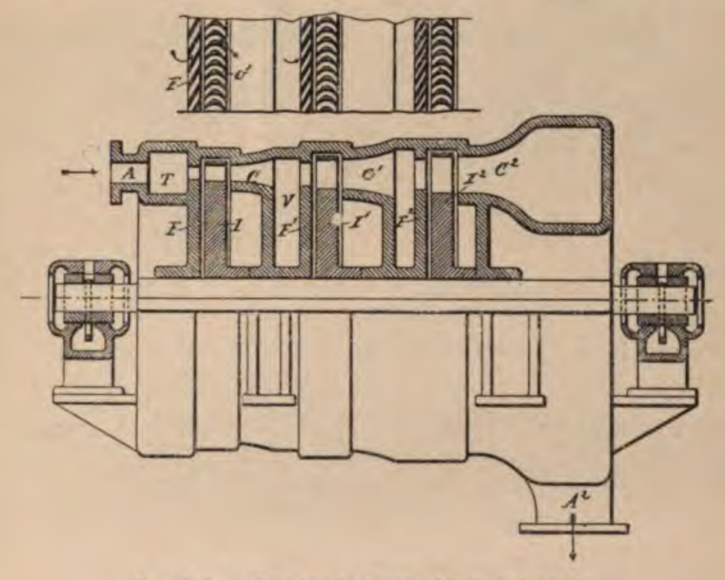


Fig. 342. — Turbine à vapeur *Lindmark* axiale.

qui passe dépend constamment de la pression en *b*. Dès que le passage de vapeur a lieu, il se produit donc une différence de pression entre *f* et *b* qui atteint un maximum lorsque la pression en *b* est égale à 58 p. 100 de la pression en *a*.

La figure 341 représente l'application de cette idée aux turbines à réaction. L'agent moteur, après avoir traversé un corps de turbine, dans lequel il a accompli un certain travail, est amené dans un canal ayant une forme spéciale, dans lequel la vitesse absolue de sortie du fluide est transformée de nouveau en pression, de sorte que le fluide, en sortant dudit canal, a acquis une vitesse moindre, mais une pression supérieure à celle qu'il avait à sa sortie de la turbine, c'est-à-dire à son entrée dans ledit canal.

De ce dernier l'agent moteur est amené à un deuxième corps de

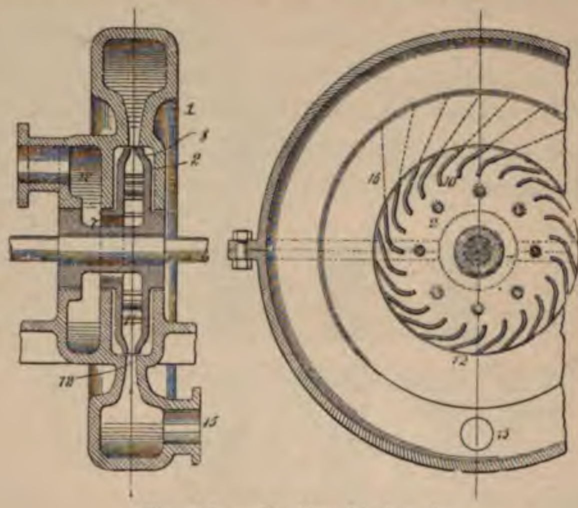


Fig. 343. — Turbine *Lindmark*.

turbine, ou bien à une deuxième partie de la même turbine que précédemment.

De cette façon on fait passer le fluide par un certain nombre des



Fig. 344. — Turbine *Lindmark*.

turbines, et la vitesse de ce fluide est transformée chaque fois en pression, jusqu'à ce que finalement le fluide se trouve détendu à la pression atmosphérique, ou à la pression de condensation vou-

lue. Par conséquent le fluide n'agit pas par une détente continue depuis la pression initiale jusqu'à la pression finale, pas plus que par une détente graduelle depuis la pression initiale jusqu'à la pression finale, mais bien le fluide moteur est soumis, après chaque diminution de pression, à une augmentation de pression qui correspond à la vitesse de sortie absolue, de sorte qu'il entre dans la turbine suivante avec une pression supérieure à

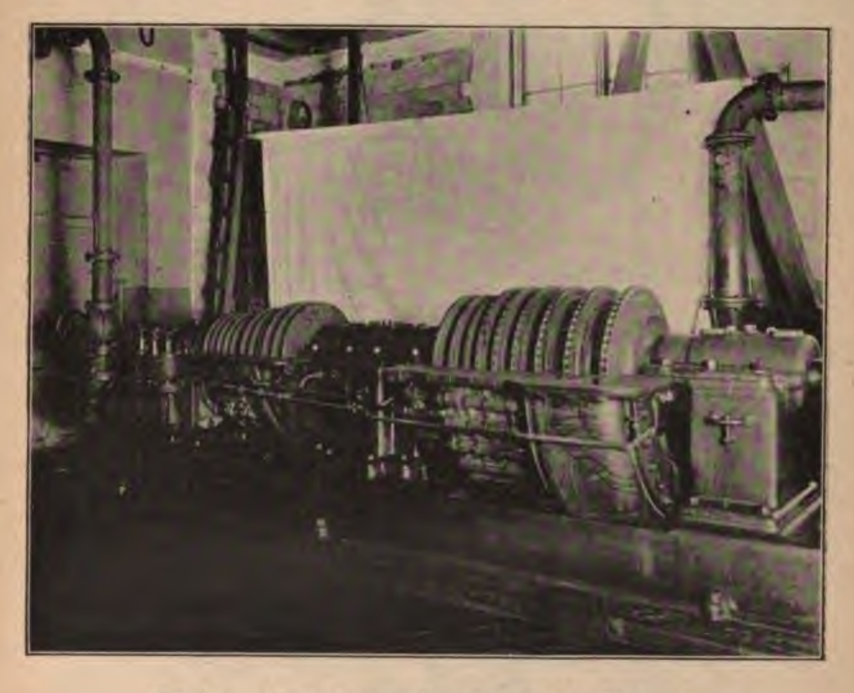


Fig. 345. — Vue en perspective de la turbine *Lindmark*.

celle qu'il possédait en quittant la turbine précédente (voir la figure 340).

La figure 342 représente une turbine compound à action, construite selon le même principe.

Les figures 343 et 344 représentent quelques détails de ces turbines.

La vapeur admise par 17, passe par 7, dans le disque 2 et sort par les aubes 10, dans le compartiment annulaire 12 pour aller à l'échappement.

Ce compartiment annulaire peut être pourvu ou non des directrices 16.

La figure 345 représente une turbine de 21 disques démontée.

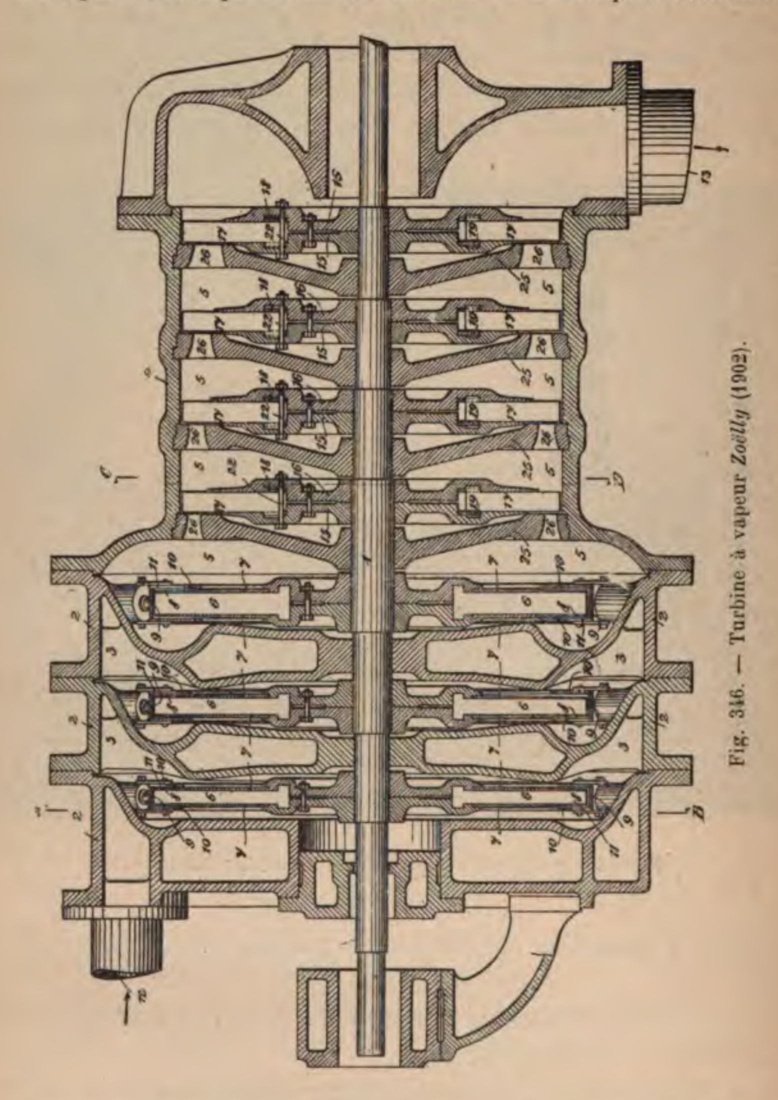


Fig. 346. — Turbine à vapeur *Zoëlly* (1902).

Zoëlly, 1902. — Cette turbine est constituée par une série de turbines radiales, suivie d'une série de turbines axiales (fig. 346).

Les aubes de ces dernières sont à profil Pelton, alors que les premières sont à une seule courbure.

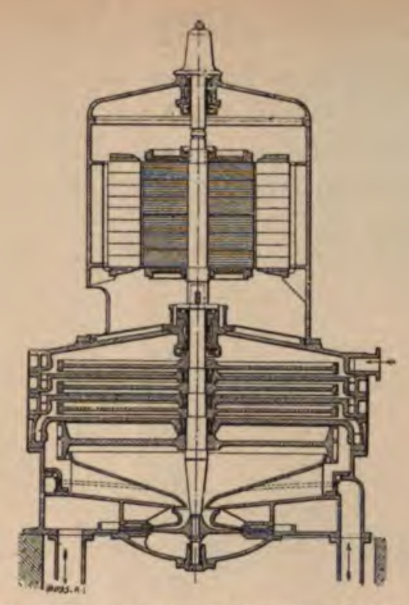


Fig. 347. — Turbine *Riedler-Stumpf* (1903).

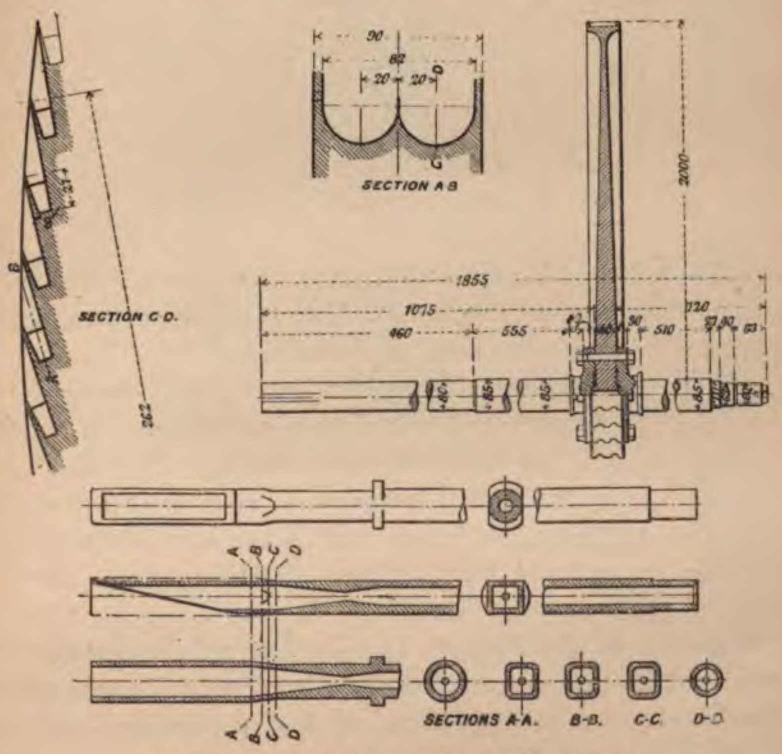


Fig. 348. — Détails de la turbine *Riedler-Stumpf*.

Riedler-Stumpf, 1903. — La figure 348 représente les détails des distributeurs et des récepteurs de cette tubine.

Les ajutages imbriqués les uns sur les autres sont de section carrée et disposés en un anneau continu autour de la roue récep-

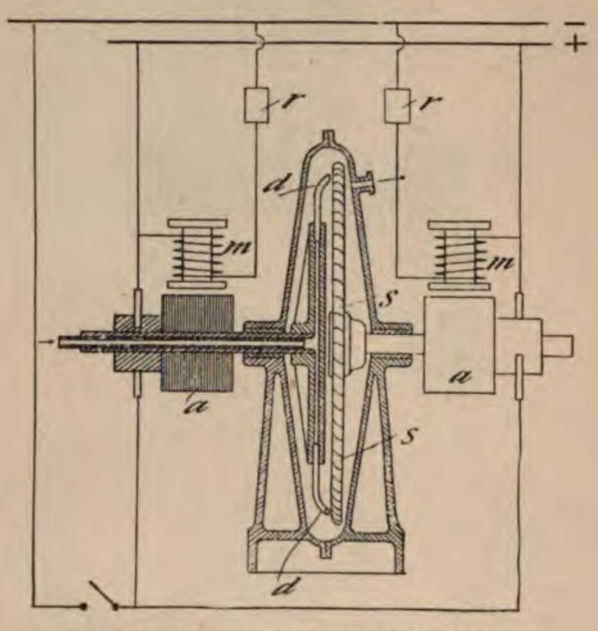


Fig. 349. — Turbine *Siemens* et *Halske* (1903).

trice. Les aubes de la roue sont à courbure unique ou avec arête médiane, comme celles des roues Pelton ; de même que les ajutages elles sont imbriquées les unes sur les autres.

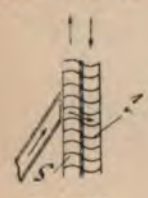


Fig. 350.

Dans les types compound où la vitesse de la vapeur est utilisée deux fois, sa marche est renversée par des directrices fixes.

La figure 347 représente un type de ce genre constitué par le groupement de deux turbines compound à deux roues chacune, séparées par une cloison.

Siemens et Halske, 1903. — Les distributeurs de vapeur *d* et la roue à aubes *s* tournent en sens contraire de manière à maintenir la même vitesse relative de la vapeur tout en réduisant la vitesse de la turbine (fig. 349).

On maintient les ajutages *d* fixes en prenant deux roues à aubes *i* et *s* tournant en sens contraire (fig. 350).

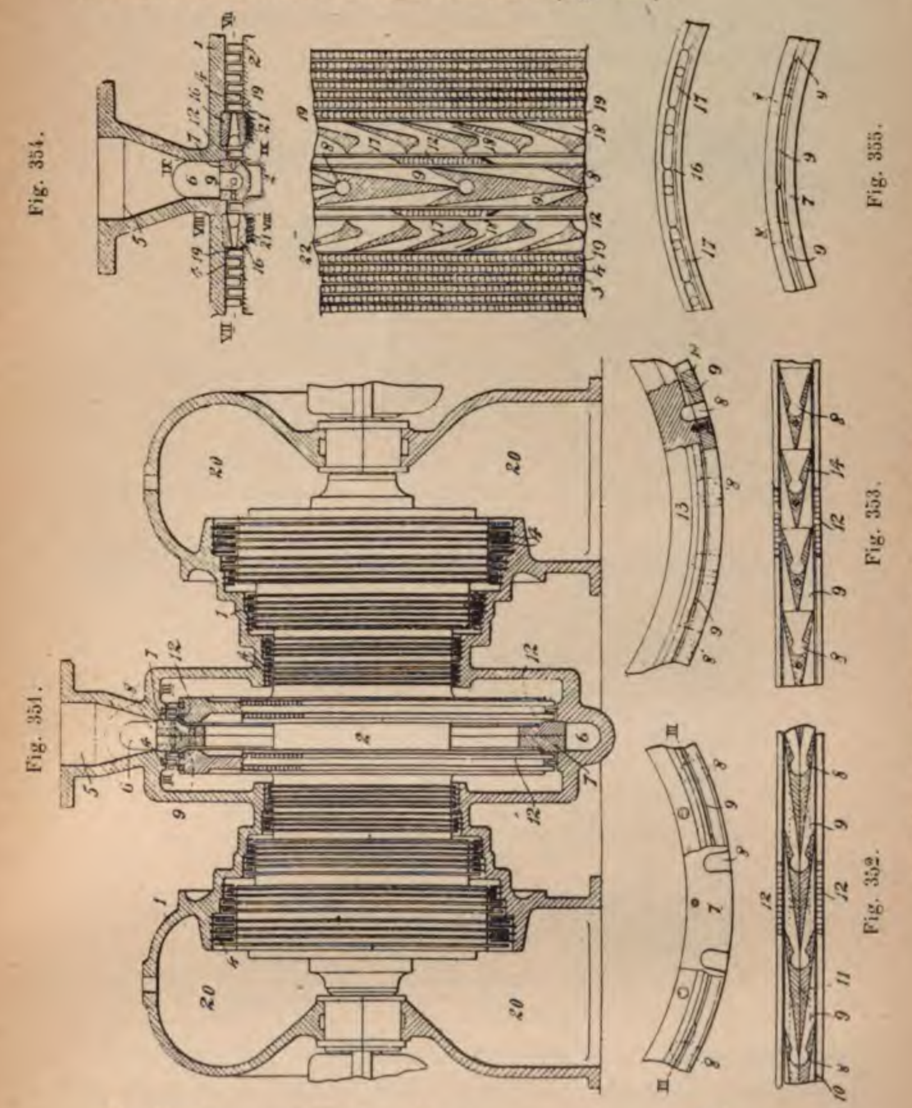


Fig. 351 à 355. — Turbine *Westinghouse* (1903). Coupes et détails.

Westinghouse, 1903. — La vapeur arrive par 5 dans un conduit annulaire 6 et de là, par les ajutages 9, de chaque côté sur les aubes mobiles 12 (fig. 351).

Après avoir traversé les premières roues à aubes 12 la vapeur s'engage dans les ajutages convergents-divergents 17-18 de la

couronne fixe 16, pour se diriger sur la série des disques à aubes 19 et des directrices 4 (fig. 354 et 355).

La garniture à peigne 21 de l'anneau 16 fait un joint étanche et empêche les fuites de vapeur.

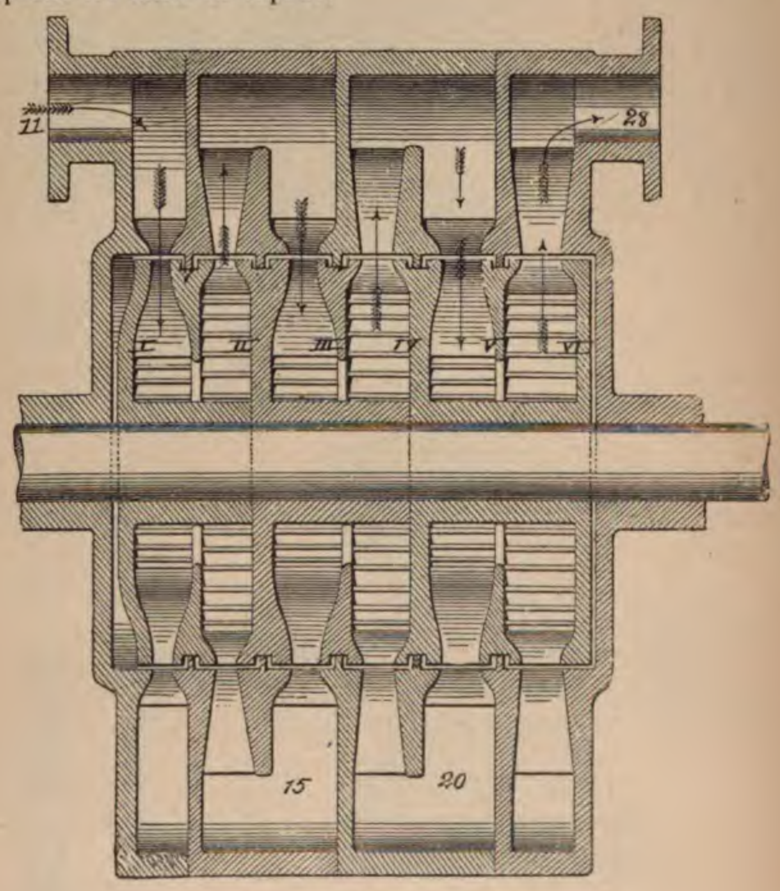


Fig. 356. — Turbine *Hedlund* (1904).

Hedlund, 1904. — C'est une turbine mixte, alternativement d'action et de réaction, et alternativement centripète et centrifuge (fig. 356).

La vapeur admise par 11 est amenée par les distributeurs convergents sur la première roue à aubes centripètes I, se dirige dans la seconde roue centrifuge II, d'où elle passe, par le distributeur divergent-convergent 15, dans la troisième roue centri-

pète III et quatrième centrifuge IV, distributeur 20, roues V et VI à l'échappement.

CLASSIFICATION DES TYPES DÉCRITS

On peut classer comme suit les machines précédemment décrites :

I. MOTEURS A RÉACTION.

A. Moteurs a simple réaction :

Héron (120 a. J.-C.).
Cardan (1550).
Kempel (1787).
Peel (1823)
Giudicelli (1825).
Réal et Pichon (1827).
Fénéon (1828).
Ericsson (1830).
Stoddard (1835).
Poole et Pilorge (1835).
Burstall (1838).
Convers (1839).
Staitte (1842).
Landormy (1845).
Slate (1852).
Tetley (1854).
Newton (1868).
Farcot (1868).
Brydges (1878).
De Laval (1883).
Howden et Hunt (1889).

B. Moteurs a réaction combinée avec détente et condensation :

Sadler (1791).
Leroy (1838).
Von Rathen (1847).
Prache (1864).
Dumoulin (1884).
Lagresille (1885).
Parsons (1893).

C. Moteurs a réaction avec l'intervention des liquides :

Amontons (1699).
Jacquemet (1837).
Passot (1838).

II. ROUES A VAPEUR.

A. Roues a axe vertical :

Giovanni Branca (1629).
Roch (1862).

B. Roues a axe horizontal :

Cook (1787).
Hornblower (1805).
Noble (1809).
Dietz (1821).
Leach (1822).
Champavère (1839).
Peroux (1850).
Appé (1865).
Smith (1877).
Lumley (1878).
Cooper (1882).
Webb (1882).

Latiberty (1884).
Powers (1885).
Allaire et Gautier (1890).
Thompson et Nevard (1893).

III. TURBINES A VAPEUR.

1. — A DISQUE UNIQUE	2. — A DISQUES MULTIPLES

A. TURBINES A RÉACTION :

a. *Turbines radiales centrifuges à axe vertical :*

Lainé-Laroche (1844).	Girard (1855).

b. *Turbines radiales centrifuges à axe horizontal :*

Pelletan (1838).	Robert Wilson (1848).
	Autier (1859).
Brunner (1886).	
	Clarke et Warburton (1901).
	Parsons (1891).
	Edwards (1892).
	Terry (1893).
	Dow (1893).

c. *Turbines radiales centripètes à axe vertical :*

	Leroy (1838-40).

d. *Turbines radiales centripètes à axe horizontal :*

Delonchant (1853).	Parsons (1890).
Mac-Elroy (1893).	
Bollmann (1894).	
Ferranti (1895).	

e. *Turbines radiales mixtes (centrifuges et centripètes)*

1. — A DISQUE UNIQUE	2. — A DISQUES MULTIPLES
Robert Wilson (1848).	
Hoehl, Brakell et Gunther (1863).	
	Edwards (1876).
Melvill Clark (1876).	Cutter (1879).
Imray (1881).	
Dumoulin (1884).	
Isaac Last (1885).	
Altham (1892).	
	Morton (1893).
	Veichelt (1902).

f. *Turbines axiales à axe vertical :*

1. — A DISQUE UNIQUE	2. — A DISQUES MULTIPLES
	Réal et Pichon (1827).
	Tournaire (1853).
	Hanssen (1870).

g. *Turbines axiales à axe horizontal :*

1. — A DISQUE UNIQUE	2. — A DISQUES MULTIPLES
Ewbank (1841).	
	Pilbrow (1843).
Romanet (1859).	Robert Wilson (1848).
Perrigault et Farcot (1864).	Parsons (1884).
Wrench (1894).	
Bollmann (1894).	
Hopkins (1894).	
	Ferranti (1894).
	Shultz (1898).
	Ashton (1900).

1. — A DISQUE UNIQUE	2. — A DISQUES MULTIPLES

B. TURBINES D'ACTION :

a. *Turbines axiales à axe horizontal :*

de Laval (1889).	de Laval (1894).
Rateau (1894).	Rateau (1898).
	Rateau Sautter-Harlé (1901).
	Breguet-de Laval (1902).
Riedler-Stumpf (1903).	
Siemens et Halske (1903).	Westinghouse (1903).

b. *Turbines axiales à axe vertical :*

	Curtis (1896).
	Riedler-Stumpf (1903).

c. *Turbine radiale centripète à axe horizontal :*

Viale (1900).

d. *Turbines mixtes axiales radiales :*

Zoëlly (1902).

IV. MOTEURS MIXTES.

A. MOTEURS HÉLICOÏDAUX :

Gauckler (1879).
Farcot (1889).
West (1889).
Smith (1893).

B. Moteurs spiroïdaux :

Smith (1893).
Husberg (1894).

C. Moteurs spiro-hélicoïdaux :

Hunt (1889).

INDEX ALPHABÉTIQUE

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

CATALOGUE DE LIVRES

SUR

L'ÉLECTRICITÉ

PUBLIÉS PAR

La Librairie Polytechnique CH. BÉRANGER

Successeur de BAUDRY et Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS

21, RUE DE LA RÉGENCE, A LIÈGE

Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.

Leçons d'électricité.

Leçons d'électricité professées à l'École pratique d'Électricité industrielle. Le courant électrique. Distribution des courants et des forces électromotrices. Électromagnétisme. Induction électromagnétique. Électrostatique, par E. Carvallo, docteur ès sciences, agrégé de l'Université, examinateur à l'École polytechnique. 1 volume grand in-8° contenant 203 figures dans le texte. Relié. . . . . . 10 fr.

Électricité industrielle.

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures ; piles et machines électriques ; éclairage électrique ; transmission électrique de l'énergie ; galvanoplastie et électro-métallurgie ; téléphonie, par E. Cadiat et L. Dubost. 6e édition, 1 volume grand in-8° avec 291 gravures dans le texte, relié. . . . . . 16 fr. 50

Manuel pratique de l'électricien.

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques. Production de l'électricité. Transformation des courants électriques. Éclairage électrique. Transmission électrique de l'énergie. Sonneries électriques. Signaux. Téléphones. Inflammation des torpilles et des mines. Galvanoplastie, par E. Cadiat. 4e édition, 1 volume in-12 avec 243 figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Manuel pratique d'électricité industrielle.

Manuel pratique d'électricité industrielle. Théorie et applications à l'usage des contremaîtres, monteurs, ouvriers électriciens et mécaniciens s'occupant d'électricité, par Ch. Gruet, ingénieur électricien. 1 volume in-18 jésus contenant 259 figures dessinées par l'auteur. Relié. . . . . 5 fr.

Aide-mémoire de poche de l'électricien.

Aide-mémoire de poche de l'électricien. Unités. Machines électriques. Machines à courants continus et à courants alternatifs. Self-induction. Capacités. Transformateurs. Conducteurs d'énergie. Canalisations électriques. Moteurs électriques. Éclairage électrique. Distribution de l'énergie. Traction électrique. Électro-métallurgie. Sonneries. Téléphones. Prescriptions administratives ; guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc., par Ph. Picard et A. David, ingénieurs des arts et manufactures. 2e édition par A. David. 1 volume, format oblong de 0 m. 125 × 0 m. 08, relié en maroquin, tranches dorées. 6 fr. 50

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Système d'unités absolues. Electrostatique. Electrocinétique. Magnétisme. Electromagnétisme. Application de l'Electromagnétisme. Instruments de mesure électrique. Méthodes générales de mesure électrique. Méthodes de mesures spéciales aux lignes électriques. Determination des unités électriques. Détermination de l'ohm. Cours professé à l'Ecole supérieure de télégraphie, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes. 2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte . . . . 25 fr.

Théorie de l'électricité.

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 74 figures dans le texte, relié. . . . 20 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par Félix Lucas, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 278 figures dans le texte. . . . . 15 fr.

Électricité industrielle.

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par Marcel Deprez, membre de l'Institut, professeur d'électricité industrielle au Conservatoire national des arts et metiers, professeur suppléant au Collège de France.

Tome I (contenant les fascicules 1 et 2) : Electricité statique et magnétisme Electrométrie. Magnétométrie. Electro-cinétique. Electro-magnétisme. Electro dynamique. Introduction électromagnétique. 1 vol. grand in-8° avec 295 figures. 24 fr.

Fascicule 3 : Electrométrie, 1 vol. in-8° avec 190 fig. dans le texte . . . 12 fr.

Contrôle des installations électriques.

Contrôle des installations electriques au point de vue de la sécurité. Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle a l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. Monmerqué, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 2e édition revue et augmentée. 1 volume in 8° avec 227 figures dans le texte, relié . . . . . . 15 fr.

Canalisations électriques.

Les canalisations électriques, 1re partie. Fonctionnement et calcul des canalisations à courant continu, par Teichmüller, directeur de l'Institut Electrotechnique de Karlsruhe, traduit de l'allemand avec autorisation de l'auteur, par P. Barth, ingénieur électricien. 1 vol. grand in-8° avec 155 figures dans le texte, relié. 15 fr.

Canalisations électriques.

Essais et vérifications des canalisations électriques en fabrication à la pose et en exploitation, par G. Charpentier, ingénieur-électricien. 1 volume grand in-8° avec 250 figures dans le texte, relié. . . . . 15 fr.

Contrôle des réseaux électriques.

Nouvelle méthode générale de contrôle de l'isolement et de recherche des défauts sur les réseaux électriques pendant le service, par P. Charpentier, ingénieur-électricien. 1 brochure in-8° avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

L'Électricité et ses applications. — Piles électriques.

L'électricité et ses applications, 1re partie. Les piles électriques. Principes généraux d'électricite et de magnétisme. Applications domestiques, industrielles et médicales. Notions de mécanique et de physique. – Production de l electricité statique. – Influence et condensation. – Machines électrostatique ; leurs effets. — Les piles voltaïques et thermo-électriques. — Effets et lois des courants. – Magnétisme. – Electromagnétisme. – Applications des électro-aimants. — Télégraphie électrique. — Courants d'induction. — Bobine de Rhumkorff. — Les rayons X. —

Téléphonie. — Courants de haute fréquence. — Télégraphie sans fil, par A. [illegible] Licencié ès sciences mathématiques, professeur [illegible] 1 volume in-8° contenant [illegible] figures dans le texte, relié . . . [illegible]

L'Électricité et ses applications — Machines d'induction.

L'électricité et ses applications [illegible] par A. [illegible] licencié ès sciences mathématiques et ès sciences physiques. 1 volume in-8° contenant [illegible] figures dans le texte, relié . . . [illegible]

L'Électricité dans l'industrie.

L'électricité dans l'industrie. Rapport présenté à l'Association des anciens élèves des Écoles supérieures de commerce et d'industrie de Rouen, par [illegible] ingénieur. 1 volume in-8° avec gravures dans le texte . . . [illegible]

L'Année électrique.

L'année électrique, électrothérapique et radiographique. Revue annuelle des progrès électriques. Électro-chimie, éclairage, chauffage électrique, télégraphie, téléphonie, télégraphie et téléphonie sans fil, traction électrique, l'électricité à la guerre, etc., électrothérapie, radiographie, par Foveau de Courmelles, médecin électricien. 1 volume in-18. Chaque année . . . . . 3 fr. 50

[illegible]

Électrolyse.

Électrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité, par [illegible] 2e édition. 1 volume grand in-8° avec gravures dans le texte, relié . . . . . 15 fr.

Électro-chimie.

Traité théorique et pratique d'électro-chimie. Constantes chimiques, mécaniques et électriques. Systèmes électrolytiques. Lois générales de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Traitement électrolytique des composés chimiques. Électrolyse appliquée à la chimie organique. Réaction chimique de l'étincelle et de l'effluve électriques, par Adolphe Minet, directeur du journal *l'Électro-Chimie*. 1 volume grand in-8° contenant 206 figures dans le texte, relié . . . . . 18 fr.

Électro-Métallurgie.

Traité théorique et pratique d'électro-métallurgie. Galvanoplastie, analyses électrolytiques, électro-métallurgie par voie humide, méthodes électrolytiques, calcul des conducteurs, chauffage électrique, l'arc voltaïque et charbons électriques, travail électrique des métaux, les fours électriques, électro-métallurgie par voie sèche, méthodes électrolytiques et électro-thermiques, électro-thermie, par Adolphe Minet, directeur du journal *l'Électro-chimie*. 1 volume grand in-8° contenant 20[illegible] figures dans le texte, relié . . . . . 20 fr.

Dictionnaire électrotechnique.

Dictionnaire électrotechnique Français-Allemand-Anglais, par Paul Blaschke, 3 volumes in-8° . . . . . 22 fr. 50

On vend séparément :

Français-Allemand-Anglais, 1 volume . . . . . 7 fr. 50
Allemand-Anglais-Français, 1 volume . . . . . 7 fr. 50
Anglais-Allemand-Français, 1 volume . . . . . 7 fr. 50

Rhéostats.

Rhéostats de démarrage et de réglage pour moteurs et générateurs électriques. Théorie. Construction. Montage, par Rudolf Krause, ingénieur, traduit de l'allemand par P. Bénard, ingénieur-électricien. 1 vol. in-8°, 97 fig. dans le texte. Rel. 6 fr.

Essai des machines électriques.

Pratique des essais des machines électriques à courant continu et alternatif. Plancher d'essais. Essais de laboratoire. Essais des machines dynamo à courant continu. Moteurs à courant continu. Essais des moteurs de tramways. Mesure et

transformation de la puissance. Alternateurs Moteurs synchrones. Commutatrices. Moteurs d'induction. Transformateurs, par E. Duquesne, ingénieur à la Société *Maison Beer*, Jemmeppe-sur-Meuse, et U. Rouvière, ingénieur à la Société Electricité-Hydraulique, Jeumont (Nord). 1 volume in-8° contenant 233 figures dans le texte, relié . . . . 15 fr.

Moteurs pour dynamo.

Moteurs pour dynamo. Moteurs à vapeur. Moteurs hydrauliques. Moteurs à gaz et à pétrole par Ch. Gruet, ingénieur électricien. 1 volume in-12 avec 167 figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

Machines dynamo.

Les machines dynamo-électriques à courant continu et à courants alternatifs, par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par P. Leclerc, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-8° avec 200 figures dans le texte, relié. . . . . 16 fr.

Machines dynamo à courant continu.

La machine dynamo à courant continu. Théorie, construction, calcul, essais et fonctionnement, par E. Arnold, professeur, directeur de l'Institut électrotechnique à l'école technique supérieure grand-ducale de Karlsruhe, traduction française, par F. Boistel, électricien, expert près les cours et tribunaux, et E.-J. Brunswick, électricien, ingénieur des arts et manufactures.

Tome I. *Théorie de la machine à courant continu*. Production d'un courant. Enroulements, armatures en anneau, armatures en tambour, armatures en disque, armatures à enroulement ouvert, excitation, système inducteur, forces magnétomotrices. Réaction d'induit, commutation, caractéristiques, causes de diminution du rendement. 1 volume in-8° contenant 421 figures dans le texte. Relié . . . 25 fr.

Machines dynamo-électriques.— Enroulements.

Des enroulements et de la construction des induits des machines dynamo-électriques à courants continus. Enroulements fermés, en anneau, en tambour, ouverts. Exécution des enroulements, construction des enduits, par E. Arnold, professeur et directeur de l'Institut électro-technique de Carlsruhe. Traduit de l'allemand par Boy de la Tour, ingénieur. 1 vol. in-8° avec 418 fig. dans le texte et 12 pl. relié. 20 fr.

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par R.-V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. 1 vol. gr. in-8° avec 198 fig. dans le texte. 12 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques. Eléments. Principes. Théorie. Induits. Enroulement des induits. Dynamo à courant continu. Dynamos diverses. Alternateurs. Moteurs asynchrones. Transformateurs. Moteurs dynamo. Transmission de l'énergie. Régulateurs. Epreuves de machines. Conduite des dynamos, par Silvanus P. Thompson, traduit par E. Boistel. 3e édition, 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte, relié. . . . . 30 fr.

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, exposé théorique, calculs, applications pratiques, par Frœlich, traduit de l'allemand par E. Boistel. 1 volume grand in-8° avec 62 figures dans le texte . . . . 10 fr.

Moteurs asynchrones polyphasés.

Méthode pratique pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés. Champ tournant, forces électromotrices induites par le champ tournant, coupe électromagnétique, actions magnétisantes des enroulements, résistance des bagues du court circuit, des enduits en cage d'écureuil, diagramme de fonctionnement des moteurs polyphasés. Applications pratiques, par Boy de la Tour, ingénieur. 1 volume in-8° contenant 70 figures dans le texte. . . . . 12 fr. 50

Constructions électro-mécaniques.

Constructions électro-mécaniques ; recueil d'exemples de construction et de calculs de machines dynamos et appareils électriques industriels, par Gisbert Kapp,

traduit de l'allemand par A.-O. Dubsky et P. Girault, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-4° avec 54 figures dans le texte et 25 planches, relié. . . . . . . 30 fr.

Éclairage électrique.

Traité pratique des installations d'éclairage électrique, adaptation française de l'ouvrage de MM. Herzog et Feldmann (*Handbüch der Elektrischen Beleuchtung*) par H. Boy de la Tour, ingénieur, chef du service électrique de la compagnie de Fives-Lille. 1 volume grand in-8° avec 413 figures dans le texte et 5 planches hors texte. Relié. . . . . 25 fr.

Éclairage électrique.

Installations d'éclairage électrique. Manuel pratique. Unités, mesures, compteurs industriels, machines dynamos, accumulateurs, transformateurs, lampes électriques, canalisation, conducteurs aériens, conducteurs souterrains. Appareils auxiliaires, systèmes de distribution, coût des installations. Lois et règlements, par E. Piazzoli, ingénieur civil. Traduit de l'italien par G. Cicchello et E. A. della Santa, ingénieurs. 1 volume in 8° contenant 264 figures dans le texte et 90 tableaux, relié. . . . . 16 fr.

Éclairage électrique.

Eclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par Hippolyte Fontaine. 1 volume in-4° avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte relié . . . . 25 fr.

Éclairage électrique.

Etude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels, par Georges Dumont, avec la collaboration de Gustave Baignières. 1 volume grand in-8° avec 2 planches. . . 5 fr.

Éclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Étude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc. ; usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage ; organisation administrative et commerciale, rapports des compagnies avec la ville ; traités et conventions, calcul de l'éclairement des voies publiques ; prix de revient, par Henri Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in 8° avec 221 figures dans le texte, relié. . . . . 20 fr.

Éclairage des voitures de Chemins de fer.

Eclairage des voitures de chemins de fer. Huile, pétrole, gaz de houille, gaz d'huile, acétylène, gaz mixte. Electricité, par J. Cahuser, ingénieur des mines. 1 volume in-8° contenant 100 figures intercalées dans le texte. . . . . . 6 fr.

Électricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par Fleeming Jenkin, professeur à l'Université d'Edimbourg ; traduit de l'anglais par X. de Térésco. 1 volume in-12 avec 32 gravures. . . . . 2 fr.

Courants polyphasés.

Courants polyphasés et alterno-moteurs. Théorie, construction, mode de fonctionnement et qualités des générateurs et des moteurs à courants alternatifs et polyphasés, transformateurs polyphasés et mesure de la puissance dans les systèmes polyphasés, par Sylvanus P. Thompson, directeur du collège technique de Finsbury, à Londres, traduction par E. Boistel, ingénieur-expert près le tribunal de la Seine, 2e édition, 1 volume in-8° contenant 360 figures dans le texte et 12 planches hors texte et en couleurs, relié. . . . . 25 fr.

Courants alternatifs.

Eléments du calcul et de la mesure des courants alternatifs, par Omer de Bast, ingénieur. Professeur à L'Ecole industrielle de Liège. 1 volume in-8° contenant 75 figures dans le texte, relié . . . . 7 fr. 50

Courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. Blakesley, professeur au Royal Naval Collège de Greenwich, traduit de la 3e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. Rechniewski. 1 vol. in-12, avec fig. dans le texte, relié. 7 fr. 50

Vecteurs rotatoires et alternatifs.

Théorie des vecteurs rotatoires et des vecteurs alternatifs, et sur une application de cette théorie aux moteurs à courants alternatifs, par Galileo Ferraris, professeur à l'Académie royale des Sciences de Turin, traduit par Ed. Francken, ingénieur. 1 brochure in-8° avec figures. . . . . 1 fr. 50

Transformateurs.

Les transformateurs à courants alternatifs simples et polyphasés. Théorie, construction, applications, par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par A. O. Dubsky et G. Chenet, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-8°, avec 132 figures dans le texte, relié. . . . . 12 fr.

Courant électrique différentiel.

Le courant électrique différentiel, par Émile Mangon. 1 brochure in-8°, avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science, par le Dr Robert Weber, professeur à l'Académie de Neuchâtel, 3e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte . . . . 6 fr.

Problèmes d'électricité.

Recueil de problèmes d'électricité, par A. Raudot, ingénieur. 1 volume gr. in-8°, contenant de nombreuses figures dans le texte, relié . . . . 8 fr.

Tramways électriques.

Les tramways électriques. Dispositions générales, voie, tramways à conducteurs aériens, souterrains, à contacts superficiels, tramways à accumulateurs, matériel roulant, dépôt, ateliers, production et transformation de l'énergie, exploitation, dépenses, concessions, réglementation, par H. Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées, 2e édition. 1 volume in-8°, avec 188 figures dans le texte . . . 10 fr.

Chemins de fer électriques.

Les chemins de fer électriques. Dispositions générales. Production de l'électricité. Voie. Distribution de l'électricité. Alimentation des lignes. Moteurs. Traction. Automotrices. Locomotives. Chemins de fer divers. Exploitation et dépenses, par Henri Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 516 figures dans le texte. Relié . . . . 25 fr.

Traction électrique.

La traction électrique sur voies ferrées. Types de voie. Exécution des voies. Adaptation des moteurs électriques à la traction sur les voies ferrées. Moteurs de traction. Voitures automobiles. Locomotives électriques. Matériel applicable à des cas spéciaux, services à grande vitesse, monorails, lignes à fortes rampes. Fonctionnement des moteurs de traction à courant continu et à courants alternatifs. Régulation de la vitesse des voitures. Conduite, entretien et essais des moteurs et du matériel roulant. Résistance et traction du matériel roulant électrique. Puissance et énergie électrique consommées sur les voitures et à la station génératrice. Projet de traction. Freinage des voitures électriques. Dépenses d'établissement et d'exploitation des lignes électriques. Conditions de sécurité, réglementation et contrôle technique, par André Blondel et F.-Paul Dubois, ingénieurs des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8°, contenant plus de 1700 pages et 1014 figures dans le texte. Reliés . . . . 50 fr.

Production et distribution de l'énergie électrique.

Production et distribution de l'énergie électrique. Puissance et organisation des stations centrales, chaudières, machines à vapeur. Stations centrales au gaz pauvre.

Stations centrales hydrauliques. Machines électriques employées pour la traction. Machines à courant continu. Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. Sous-stations de transformation. Moyens d'éviter ou de remédier aux accidents de personnes, dépenses d'établissement des stations centrales. Feeders. Lignes aériennes, Trolleys. Montage des lignes aériennes. Parafoudres, appareils accessoires des lignes aériennes. 3e rail. Caniveaux. Contacts superficiels. Retour du courant, par H. Martin, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8°, avec 870 figures dans le texte. Relié . . . . 25 fr.

Distribution d'énergie électrique.

Les distributions d'énergie électrique dans les petites localités, par Richard Berger, ingénieur mécanicien, ingénieur électricien. 1 brochure grand in-8° avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

Transport et distribution de l'énergie.

Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs, description du matériel, calcul des lignes aériennes, par Ch. Guret, ingénieur électricien. 1 volume in-8° contenant 48 figures dans le texte. Relié. . . . . . . 4 fr.

Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par Emile Reynier. 1 volume grand in-8°, avec 62 figures dans le texte et un portrait de M. G. Planté. . 6 fr.

L'accumulateur électrique.

L'accumulateur électrique et ses applications industrielles. Traité pratique à l'usage de l'ingénieur. L'accumulateur au plomb. Appareillage auxiliaire. Applications, par Lamar Lyndon, traduit de l'anglais par Ch. de Vaublanc, ingénieur à la Société française de l'accumulateur Tudor. 1 volume grand in-8° contenant 184 figures dans le texte et 2 planches. Relié . . . . 17 fr. 50

Accumulateur au plomb.

La théorie de l'accumulateur au plomb. Théories de la production du courant. Variation de la force électromotrice. Variation du potentiel. Coefficient de température. Influence de la pression. Allure de charge et de décharge. Réversibilité. Phénomènes du circuit. Résistance intérieure. Capacité, Rendement. Phénomènes de formation. Méthodes de mesure. Table des densités, etc., par le Dr Fr. Dolezalek, traduit de l'allemand par Ch. Liagre. 1 volume in-8° avec 40 figures dans le texte . . . . 8 fr.

Téléphone.

Le téléphone. Théorie. Induction. Transmetteurs à charbons. Téléphones spéciaux. Lignes téléphoniques. Appareils auxiliaires. Stations terminales. Stations intermédiaires. Bureaux centraux français et étrangers. Tableaux commutateurs. Stations téléphoniques publiques. Téléphones multiplex. Application du téléphone au service de la télégraphie. Télégraphie militaire. Applications diverses, par William Henri Preece, électricien en chef du *British Post-Office*, et Julius Maier, docteur ès sciences physiques. 1 vol. grand in-8°, avec 290 gr. dans le texte. 15 fr.

Télégraphie électrique.

Traité de télégraphie électrique. Production du courant électrique. Organes de réception. Premiers appareils. Appareil Morse. Appareils accessoires. Installation des postes. Propriétés électriques des lignes. Lois de la propagation du courant. Essais électriques, recherches des dérangements. Appareils de translation, de décharge et de compensation. Description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission. Établissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines, par H. Thomas, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 702 figures dans le texte, relié. 25 fr.

Télégraphie sous-marine.

Traité de télégraphie sous-marine. Historique. Composition et fabrication des câbles télégraphiques. Immersion et réparation des câbles sous-marins. Essais électriques. Recherche des défauts. Transmission des signaux. Exploitation des lignes sous-marines, par Wunschendorff, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 469 gravures dans le texte . . . . 40 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par Paul-F. Chalon, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 jésus, avec 30 figures dans le texte. Prix relié. 7 fr. 50

Électricité médicale.

Traité théorique et pratique d'électricité médicale. Précis d'électricité. Appareils et instruments électro-médicaux. Applications thérapeutiques, par Félix Lucas et André Lucas. 1 volume in-18 jésus, avec 120 figures dans le texte, relié . . 10 fr.

La télégraphie sans fil.

La télégraphie sans fil. L'œuvre de Marconi, de l'origine aux premières expériences publiques, étapes parcourues jusqu'à ce jour, manière dont les ondes se propagent dans les transmissions à longue distance, côté commercial, par E. Guarini. 1 brochure in-8° avec 88 figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

Installations électriques. Mesures de précaution.

Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaires sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies allemandes d'Assurance contre l'incendie, par le Dr Oskar May, traduit de l'allemand sous la direction de Ph. Delahaye. 1 brochure grand in-8°, avec 13 figures dans le texte . . . . 1 fr. 50

Charbons électriques.

La fabrication des charbons électriques ; cette étude a paru dans les livraisons d'avril et mai 1902 du *Portefeuille des machines*. Prix de ces deux livraisons . . . . 4 fr.

Transmission de force.

N.-B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 *fr.* la livraison.

Transmission de force par l'électricité appliquée à l'usine de fabrication d'engrais chimiques de P. Linet à Aubervilliers. Livraison de juin 1896. . . . . 2 fr.

Distribution d'énergie électrique par la dérivation du Rhône à Jonage avec 2 planches doubles. Livraisons de juillet, août et septembre 1896 des *Annales de la construction* . . . . 6 fr.

Transmission de force par courants diphasés des mines de Sheba (Transvaal), avec une planche. Livraison de décembre 1899. . . . . 2 fr.

Transport de la force par l'électricité. Ponts roulants électriques de la Société internationale d'électricité à Liège avec 6 planches. Livraisons de janvier et février 1900 . . . . 4 fr.

Usine électrique de Bercy, pour la production de l'énergie électrique du chemin de fer métropolitain de Paris, avec 2 planches doubles, livraison de mai 1900 et juin 1904. . . . . 4 fr.

Sous-station électrique du chemin de fer métropolitain de Paris, à la place de l'Étoile, avec 2 planches, livraison de juin 1900. . . . . 2 fr.

Utilisation des chutes d'eau à la production d'énergie électrique, avec 2 planches doubles, livraison de juillet 1901 . . . . 2 fr.

L'énergie hydro-électrique, sa production, ses applications. Livraison d'octobre 1904 des *Annales de la construction* . . . . 2 fr.



CATALOGUE DE LIVRES

SUR

L'ÉLECTRICITÉ

PUBLIÉS PAR

La Librairie Polytechnique CH. BÉRANGER

Successeur de BAUDRY et Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS

21, RUE DE LA RÉGENCE, A LIÈGE

Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.

Leçons d'électricité.

Leçons d'électricité professées à l'École pratique d'Électricité industrielle. Le courant électrique. Distribution des courants et des forces électromotrices. Electromagnétisme. Induction électromagnétique. Electrostatique, par E. Carvallo, docteur ès sciences, agrégé de l'Université, examinateur à l'École polytechnique. 1 volume grand in-8° contenant 203 figures dans le texte. Relié. . . . . . 10 fr.

Électricité industrielle.

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures; piles et machines électriques; éclairage électrique; transmission électrique de l'énergie; galvanoplastie et électro-métallurgie; téléphonie, par E. Cadiat et L. Dubost. 6e édition, 1 volume grand in-8° avec 291 gravures dans le texte, relié. . . . . . 16 fr. 50

Manuel pratique de l'électricien.

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques. Production de l'électricité. Transformation des courants électriques. Eclairage électrique. Transmission électrique de l'énergie. Sonneries électriques. Signaux. Téléphones. Inflammation des torpilles et des mines. Galvanoplastie, par E. Cadiat. 4e édition, 1 volume in-12 avec 243 figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Manuel pratique d'électricité industrielle.

Manuel pratique d'électricité industrielle. Théorie et applications à l'usage des contremaîtres, monteurs, ouvriers électriciens et mécaniciens s'occupant d'électricité, par Ch. Gruet, ingénieur électricien. 1 volume in-18 jésus contenant 259 figures dessinées par l'auteur. Relié. . . . . 5 fr.

Aide-mémoire de poche de l'électricien.

Aide-mémoire de poche de l'électricien. Unités. Machines électriques. Machines à courants continus et à courants alternatifs. Self-induction. Capacités. Transformateurs. Conducteurs d'énergie. Canalisations électriques. Moteurs électriques. Eclairage électrique. Distribution de l'énergie. Traction électrique. Electro-métallurgie. Sonneries. Téléphones. Prescriptions administratives; guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc., par Ph. Picard et A. David, ingénieurs des arts et manufactures. 2e édition par A. David. 1 volume, format oblong de 0 m. 125 × 0 m. 08, relié en maroquin, tranches dorées. 6 fr. 50

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Système d'unités absolues. Electrostatique. Electrocinétique. Magnétisme. Electromagnétisme. Application de l'Electromagnétisme. Instruments de mesure électrique. Méthodes générales de mesure électrique. Méthodes de mesures spéciales aux lignes électriques. Détermination des unités électriques. Détermination de l'ohm. Cours professé à l'Ecole supérieure de télégraphie, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes. 2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte . . . . 25 fr.

Théorie de l'électricité.

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 74 figures dans le texte, relié. . . . 20 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par Félix Lucas, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 278 figures dans le texte. . . . . 15 fr.

Électricité industrielle.

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par Marcel Deprez, membre de l'Institut, professeur d'électricité industrielle au Conservatoire national des arts et métiers, professeur suppléant au Collège de France.

Tome I (contenant les fascicules 1 et 2) : Electricité statique et magnétisme Electrométrie. Magnétométrie. Electro-cinétique. Electro-magnétisme. Electro dynamique. Introduction électromagnétique. 1 vol. grand in-8° avec 295 figures. 24 fr.

Fascicule 3 : Electrométrie, 1 vol. in-8° avec 190 fig. dans le texte . . . 12 fr.

Contrôle des installations électriques.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle à l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. Monmerqué, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 2e édition revue et augmentée. 1 volume in 8° avec 227 figures dans le texte, relié.. . . . . 15 fr.

Canalisations électriques.

Les canalisations électriques, 1re partie. Fonctionnement et calcul des canalisations à courant continu, par Teichmüller, directeur de l'Institut Electrotechnique de Karlsruhe, traduit de l'allemand avec autorisation de l'auteur, par P. Bucu., ingénieur électricien. 1 vol. grand in-8° avec 155 figures dans le texte, relié. 15 fr.

Canalisations électriques.

Essais et vérifications des canalisations électriques en fabrication à la pose et en exploitation, par G. Charpentier, ingénieur-électricien. 1 volume grand in-8° avec 250 figures dans le texte, relié. . . . . 15 fr.

Contrôle des réseaux électriques.

Nouvelle méthode générale de contrôle de l'isolement et de recherche des défauts sur les réseaux électriques pendant le service, par P. Charpentier, ingénieur-électricien. 1 brochure in-8° avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

L'Électricité et ses applications. — Piles électriques.

L'électricité et ses applications, 1re partie. Les piles électriques. Principes généraux d'électricité et de magnétisme. Applications domestiques, industrielles et médicales. Notions de mécanique et de physique. — Production de l'électricité statique. — Influence et condensation. — Machines électrostatique : leurs effets. — Les piles voltaïques et thermo électriques. — Effets et lois des courants. — Magnétisme. — Electromagnétisme. — Applications des électro-aimants. — Télégraphie électrique. — Courants d'induction. — Bobine de Rhumkorff. — Les rayons X. —

Téléphonie. — Courants de haute fréquence. — Télégraphie sans fil, par A. Reboud, Licencié ès sciences mathématiques, professeur de physique et de chimie. 1 volume in-8° contenant 225 figures dans le texte, relié . . . . 7 fr. 50

L'Électricité et ses applications. — Machines d'induction.

L'électricité et ses applications 2e partie. Les machines d'induction. Production, distribution et utilisation industrielle de l'énergie électrique, par A. Reboud, licencié ès sciences mathématiques et ès sciences physiques. 1 volume in-8° contenant 190 figures dans le texte, relié . . . . 10 fr.

L'Électricité dans l'industrie.

L'électricité dans l'industrie. Rapport présenté à l'Association des anciens élèves des Écoles supérieures de commerce et d'industrie de Rouen, par Raoul Lemoine, ingénieur. 1 volume in-8° avec gravures dans le texte. . . . . 6 fr.

L'Année électrique.

L'année électrique, électrothérapique et radiographique. Revue annuelle des progrès électriques. Électro-chimie, éclairage, chauffage électrique, télégraphie, téléphonie, télégraphie et téléphonie sans fil, traction électrique. L'électricité à la guerre, etc., électrothérapie, radiographie, par Foveau de Courmelles, médecin-électricien. 1 volume in-18. Chaque année. . . . . 3 fr. 50
Cette publication a commencé à paraître en 1900.

Électrolyse.

Électrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité, par Hippolyte Fontaine. 2e édition, 1 volume grand in-8° avec gravures dans le texte, relié . . . . 15 fr.

Électro-chimie.

Traité théorique et pratique d'électro-chimie. Constantes chimiques, mécaniques et électriques. Systèmes électrolytiques. Lois générales de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Traitement électrolytique des composés chimiques. Électrolyse appliquée à la chimie organique. Réaction chimique de l'étincelle et de l'effluve électriques, par Adolphe Minet, directeur du journal *l'Électro-Chimie*. 1 volume grand in-8° contenant 206 figures dans le texte, relié. . . . . 18 fr.

Électro-Métallurgie.

Traité théorique et pratique d'électro-métallurgie. Galvanoplastie, analyses électrolytiques, électro-métallurgie par voie humide, méthodes électrolytiques, calcul des conducteurs, chauffage électrique, l'arc voltaïque et charbons électriques, travail électrique des métaux, les fours électriques, électro-métallurgie par voie sèche, méthodes électrolytiques et électro-thermiques, électro-thermie, par Adolphe Minet, directeur du journal *l'Électro-chimie*. 1 volume grand in 8° contenant 205 figures dans le texte, relié . . . . 20 fr.

Dictionnaire électrotechnique.

Dictionnaire électrotechnique Français-Allemand-Anglais, par Paul Blaschke, 3 volumes in-8° . . . . 22 fr. 50
On vend séparément :
Français-Allemand-Anglais, 1 volume. . . . . 7 fr. 50
Allemand-Anglais-Français, 1 volume. . . . . 7 fr. 50
Anglais-Allemand-Français, 1 volume . . . . 7 fr. 50

Rhéostats.

Rhéostats de démarrage et de réglage pour moteurs et générateurs électriques. Théorie. Construction. Montage, par Rudolf Krause, ingénieur, traduit de l'allemand par P. Bénard, ingénieur-électricien. 1 vol. in-8°, 97 fig. dans le texte. Rel. 6 fr.

Essai des machines électriques.

Pratique des essais des machines électriques à courant continu et alternatif. Plancher d'essais. Essais de laboratoire. Essais des machines dynamo à courant continu. Moteurs à courant continu. Essais des moteurs de tramways. Mesure et

transformation de la puissance. Alternateurs Moteurs synchrones. Commutatrices. Moteurs d'induction. Transformateurs, par E. Duquesne, ingénieur à la Société *Maison Beer*, Jemmeppe-sur-Meuse, et U. Rouvière, ingénieur à la Société Electricité-Hydraulique, Jeumont (Nord). 1 volume in-8° contenant 233 figures dans le texte, relié . . . . 15 fr.

Moteurs pour dynamo.

Moteurs pour dynamo. Moteurs à vapeur. Moteurs hydrauliques. Moteurs à gaz et à pétrole par Ch. Gruet, ingénieur électricien. 1 volume in-12 avec 167 figures dans le texte, relié. . . . . 7 fr. 50

Machines dynamo.

Les machines dynamo-électriques à courant continu et à courants alternatifs. par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par P. Leclerc, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-8° avec 200 figures dans le texte, relié. . . . . 16 fr.

Machines dynamo à courant continu.

La machine dynamo à courant continu. Théorie, construction, calcul, essais et fonctionnement, par E. Arnold, professeur, directeur de l'Institut électrotechnique à l'école technique supérieure grand-ducale de Karlsruhe, traduction française, par E. Boistel, électricien, expert près les cours et tribunaux, et E.-J. Brunswick, électricien, ingénieur des arts et manufactures.

Tome I, *Théorie de la machine à courant continu*. Production d'un courant. Enroulements, armatures en anneau, armatures en tambour, armatures en disque, armatures à enroulement ouvert, excitation, système inducteur, forces magnétomotrices. Réaction d'induit, commutation, caractéristiques, causes de diminution du rendement. 1 volume in-8° contenant 421 figures dans le texte. Relié . . . 25 fr.

Machines dynamo-électriques.— Enroulements.

Des enroulements et de la construction des induits des machines dynamo-électriques à courants continus, Enroulements fermés, en anneau, en tambour, ouverts. Exécution des enroulements, construction des enduits, par E. Arnold, professeur et directeur de l'Institut électro-technique de Carlsruhe. Traduit de l'allemand par Boy de la Tour, ingénieur. 1 vol. in-8° avec 418 fig. dans le texte et 12 pl. relié. 20 fr.

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par R.-V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. 1 vol. gr. in-8° avec 198 fig. dans le texte. 12 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques. Eléments. Principes. Théorie. Induits. Enroulement des induits. Dynamo à courant continu. Dynamos diverses. Alternateurs. Moteurs asynchrones. Transformateurs. Moteurs dynamo. Transmission de l'énergie. Régulateurs. Epreuves de machines. Conduite des dynamos, par Silvanus P. Thompson, traduit par E. Boistel. 3e édition, 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte, relié. . . . . 30 fr.

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, exposé théorique, calculs, applications pratiques, par Frœlich, traduit de l'allemand par E. Boistel. 1 volume grand in-8° avec 62 figures dans le texte . . . . 10 fr.

Moteurs asynchrones polyphasés.

Méthode pratique pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés. Champ tournant, forces électromotrices induites par le champ tournant, coupe électromagnétique, actions magnétisantes des enroulements, résistance des bagues du court circuit, des enduits en cage d'écureuil, diagramme de fonctionnement des moteurs polyphasés. Applications pratiques, par Boy de la Tour, ingénieur. 1 volume in-8° contenant 70 figures dans le texte. . . . . 12 fr. 50

Constructions électro-mécaniques.

Constructions électro-mécaniques ; recueil d'exemples de construction et de calculs de machines dynamos et appareils électriques industriels, par Gisbert Kapp,

traduit de l'allemand par A.-O. Dubsky et P. Girault, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-4° avec 54 figures dans le texte et 25 planches, relié. . . . . . 30 fr.

Éclairage électrique.

Traité pratique des installations d'éclairage électrique, adaptation française de l'ouvrage de MM. Herzog et Feldmann (*Handbüch der Elektrischen Beleuchtung*) par H. Boy de la Tour, ingénieur, chef du service électrique de la compagnie de Fives-Lille. 1 volume grand in-8° avec 413 figures dans le texte et 5 planches hors texte. Relié. . . . . 25 fr.

Éclairage électrique.

Installations d'éclairage électrique. Manuel pratique. Unités, mesures, compteurs industriels, machines dynamos, accumulateurs, transformateurs, lampes électriques, canalisation, conducteurs aériens, conducteurs souterrains. Appareils auxiliaires, systèmes de distribution, coût des installations. Lois et règlements, par E. Piazzoli, ingénieur civil. Traduit de l'italien par G. Cuccurullo et E. A. della Santa, ingénieurs. 1 volume in-8° contenant 264 figures dans le texte et 90 tableaux, relié. . . . . 16 fr.

Éclairage électrique.

Eclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par Hippolyte Fontaine. 1 volume in-4° avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte relié . . . . 25 fr.

Éclairage électrique.

Etude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels, par Georges Dumont, avec la collaboration de Gustave Baignières. 1 volume grand in-8° avec 2 planches. . . 5 fr.

Éclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Étude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc. ; usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage ; organisation administrative et commerciale, rapports des compagnies avec la ville ; traités et conventions, calcul de l'éclairement des voies publiques ; prix de revient, par Henri Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in 8° avec 221 figures dans le texte, relié. . . . . 20 fr.

Éclairage des voitures de Chemins de fer.

Eclairage des voitures de chemins de fer. Huile, pétrole, gaz de houille, gaz d'huile, acétylène, gaz mixte. Electricité, par J. Carlier, ingénieur des mines. 1 volume in-8° contenant 100 figures intercalées dans le texte. . . . . . . 6 fr.

Électricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par Fleeming Jenkin, professeur à l'Université d'Edimbourg ; traduit de l'anglais par N. de Tédesco. 1 volume in-12 avec 32 gravures. . . . . 2 fr.

Courants polyphasés.

Courants polyphasés et alterno-moteurs. Théorie, construction, mode de fonctionnement et qualités des générateurs et des moteurs à courants alternatifs et polyphasés, transformateurs polyphasés et mesure de la puissance dans les systèmes polyphasés, par Sylvanus P. Thompson, directeur du collège technique de Finsbury, à Londres, traduction par E. Boistel, ingénieur-expert près le tribunal de la Seine, 2e édition, 1 volume in-8° contenant 360 figures dans le texte et 12 planches hors texte et en couleurs, relié . . . . 25 fr.

Courants alternatifs.

Eléments du calcul et de la mesure des courants alternatifs, par Omer de Bast, ingénieur. Professeur à L'Ecole industrielle de Liège. 1 volume in-8° contenant 75 figures dans le texte, relié . . . . 7 fr. 50

Courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. Blakesley, professeur au Royal Naval Collège de Greenwich, traduit de la 3e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. Rechniewski. 1 vol. in-12, avec fig. dans le texte, relié. 7 fr. 50

Vecteurs rotatoires et alternatifs.

Théorie des vecteurs rotatoires et des vecteurs alternatifs, et sur une application de cette théorie aux moteurs à courants alternatifs, par Galileo Ferraris, professeur à l'Académie royale des Sciences de Turin, traduit par Ed. Francken, ingénieur. 1 brochure in-8° avec figures. . . . . 1 fr. 50

Transformateurs.

Les transformateurs à courants alternatifs simples et polyphasés. Théorie, construction, applications, par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par A. O. Dubsky et G. Chenet, ingénieurs-électriciens. 1 volume in-8°, avec 132 figures dans le texte, relié. . . . . 12 fr.

Courant électrique différentiel.

Le courant électrique différentiel, par Émile Mangon. 1 brochure in-8°, avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science, par le Dr Robert Weber, professeur à l'Académie de Neuchâtel, 3e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte . . . . 6 fr.

Problèmes d'électricité.

Recueil de problèmes d'électricité, par A. Raubot, ingénieur. 1 volume gr. in-8°, contenant de nombreuses figures dans le texte, relié . . . . 8 fr.

Tramways électriques.

Les tramways électriques. Dispositions générales, voie, tramways à conducteurs aériens, souterrains, à contacts superficiels, tramways à accumulateurs, matériel roulant, dépôt, ateliers, production et transformation de l'énergie, exploitation, dépenses, concessions, réglementation, par H. Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées, 2e édition. 1 volume in-8°, avec 188 figures dans le texte . . . 10 fr.

Chemins de fer électriques.

Les chemins de fer électriques. Dispositions générales. Production de l'électricité. Voie. Distribution de l'électricité. Alimentation des lignes. Moteurs. Traction. Automotrices. Locomotives. Chemins de fer divers. Exploitation et dépenses, par Henri Maréchal, ingénieur des ponts et chaussées. 1 volume grand in-8° avec 516 figures dans le texte. Relié . . . . 25 fr.

Traction électrique.

La traction électrique sur voies ferrées. Types de voie. Exécution des voies. Adaptation des moteurs électriques à la traction sur les voies ferrées. Moteurs de traction. Voitures automobiles. Locomotives électriques. Matériel applicable à des cas spéciaux, services à grande vitesse, monorails, lignes à fortes rampes. Fonctionnement des moteurs de traction à courant continu et à courants alternatifs. Régulation de la vitesse des voitures. Conduite, entretien et essais des moteurs et du matériel roulant. Résistance et traction du matériel roulant électrique. Puissance et énergie électrique consommées sur les voitures et à la station génératrice. Projet de traction. Freinage des voitures électriques. Dépenses d'établissement et d'exploitation des lignes électriques. Conditions de sécurité, réglementation et contrôle technique, par André Blondel et F.-Paul Dubois, ingénieurs des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8°, contenant plus de 1700 pages et 1014 figures dans le texte. Reliés . . . . 50 fr.

Production et distribution de l'énergie électrique.

Production et distribution de l'énergie électrique. Puissance et organisation des stations centrales, chaudières, machines à vapeur. Stations centrales au gaz pauvre.

Stations centrales hydrauliques. Machines électriques employées pour la traction. Machines à courant continu. Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. Sous-stations de transformation. Moyens d'éviter ou de remédier aux accidents de personnes, dépenses d'établissement des stations centrales. Feeders. Lignes aériennes, Trolleys. Montage des lignes aériennes. Parafoudres, appareils accessoires des lignes aériennes. 3e rail. Caniveaux. Contacts superficiels. Retour du courant, par H. Martin, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8°, avec 870 figures dans le texte. Relié . . . . 25 fr.

Distribution d'énergie électrique.

Les distributions d'énergie électrique dans les petites localités, par Richard Berger, ingénieur mécanicien, ingénieur électricien. 1 brochure grand in-8° avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

Transport et distribution de l'énergie.

Transport et distribution de l'énergie par courants continus et alternatifs, description du matériel, calcul des lignes aériennes, par Ch. Gucet, ingénieur électricien. 1 volume in-8° contenant 48 figures dans le texte. Relié . . . . 4 fr.

Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par Emile Reynier. 1 volume grand in-8°, avec 62 figures dans le texte et un portrait de M. G. Planté. . 6 fr.

L'accumulateur électrique.

L'accumulateur électrique et ses applications industrielles. Traité pratique à l'usage de l'ingénieur. L'accumulateur au plomb. Appareillage auxiliaire. Applications, par Lamar Lyndon, traduit de l'anglais par Ch. de Valblanc, ingénieur à la Société française de l'accumulateur Tudor. 1 volume grand in-8° contenant 184 figures dans le texte et 2 planches. Relié . . . . 17 fr. 50

Accumulateur au plomb.

La théorie de l'accumulateur au plomb. Théories de la production du courant. Variation de la force électromotrice. Variation du potentiel. Coefficient de température. Influence de la pression. Allure de charge et de décharge. Réversibilité. Phénomènes du circuit. Résistance intérieure. Capacité, Rendement. Phénomènes de formation. Méthodes de mesure. Table des densités, etc., par le Dr Fr. Dolezalek, traduit de l'allemand par Ch. Liagre. 1 volume in-8° avec 40 figures dans le texte . . . . 8 fr.

Téléphone.

Le téléphone. Théorie. Induction. Transmetteurs à charbons. Téléphones spéciaux. Lignes téléphoniques. Appareils auxiliaires. Stations terminales. Stations intermédiaires. Bureaux centraux français et étrangers. Tableaux commutateurs. Stations téléphoniques publiques. Téléphones multiplex. Application du téléphone au service de la télégraphie. Télégraphie militaire. Applications diverses, par William Henry Preece, électricien en chef du *British Post-Office*, et Julius Maier, docteur ès sciences physiques. 1 vol. grand in 8°, avec 290 gr. dans le texte. 15 fr.

Télégraphie électrique.

Traité de télégraphie électrique. Production du courant électrique. Organes de réception. Premiers appareils. Appareil Morse. Appareils accessoires. Installation des postes. Propriétés électriques des lignes. Lois de la propagation du courant. Essais électriques, recherches des dérangements. Appareils de translation, de décharge et de compensation. Description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission. Etablissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines, par H. Thomas, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 702 figures dans le texte, relié. . . . . 25 fr.

Télégraphie sous-marine.

Traité de télégraphie sous-marine. Historique. Composition et fabrication des câbles télégraphiques. Immersion et réparation des câbles sous-marins. Essais électriques. Recherche des défauts. Transmission des signaux. Exploitation des lignes sous-marines, par Wunschendorff, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 469 gravures dans le texte . . . . 40 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par Paul-F. Chalon, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 jésus, avec 90 figures dans le texte. Prix relié. 7 fr. 50

Électricité médicale.

Traité théorique et pratique d'électricité médicale. Précis d'électricité. Appareils et instruments électro-médicaux. Applications thérapeutiques, par Félix Lucas et André Lucas. 1 volume in-18 jésus, avec 120 figures dans le texte, relié. . 10 fr.

La télégraphie sans fil.

La télégraphie sans fil. L'œuvre de Marconi, de l'origine aux premières expériences publiques, étapes parcourues jusqu'à ce jour, manière dont les ondes se propagent dans les transmissions à longue distance, côté commercial, par E. Guarini. 1 brochure in-8° avec 88 figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

Installations électriques. Mesures de précaution.

Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaires sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies allemandes d'Assurance contre l'incendie, par le Dr Oscar May, traduit de l'allemand sous la direction de Ph. Delahaye. 1 brochure grand in-8°, avec 13 figures dans le texte . . . . 1 fr. 50

Charbons électriques.

La fabrication des charbons électriques ; cette étude a paru dans les livraisons d'avril et mai 1902 du *Portefeuille des machines*. Prix de ces deux livraisons . . . . 4 fr.

Transmission de force.

N.-B. — Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr. la livraison.

Transmission de force par l'électricité appliquée à l'usine de fabrication d'engrais chimiques de P. Linet à Aubervilliers. Livraison de juin 1896. . . . . . . 2 fr.

Distribution d'énergie électrique par la dérivation du Rhône à Jonage avec 2 planches doubles. Livraisons de juillet, août et septembre 1896 des *Annales de la construction* . . . . 6 fr.

Transmission de force par courants diphasés des mines de Sheba (Transvaal), avec une planche. Livraison de décembre 1899. . . . . 2 fr.

Transport de la force par l'électricité. Ponts roulants électriques de la Société internationale d'électricité à Liège avec 6 planches. Livraisons de janvier et février 1900 . . . . 4 fr.

Usine électrique de Bercy, pour la production de l'énergie électrique du chemin de fer métropolitain de Paris, avec 2 planches doubles, livraison de mai 1900 et juin 1904. . . . . 4 fr.

Sous-station électrique du chemin de fer métropolitain de Paris, à la place de l'Étoile, avec 2 planches, livraison de juin 1900. . . . . 2 fr.

Utilisation des chutes d'eau à la production d'énergie électrique, avec 2 planches doubles, livraison de juillet 1901 . . . . 2 fr.

L'énergie hydro-électrique, sa production, ses applications. Livraison d'octobre 1904 *des Annales de la construction* . . . . 2 fr.

F.